

RSI & COLLAGEEN

Een dynamische visie op statische belasting

Jan Willem Elkhuisen

Maart 2000

Samenvatting

In dit artikel wordt de invloed van statische belasting op collageen bindweefsel besproken. Dit weefsel speelt een belangrijke rol in het overbrengen van krachten en komt onder meer voor in spieren, gewrichtsbanden, tussenwervelschijven en pezen. Als collageene vezels aanhoudend onder spanning staan treedt progressieve deformatie op, ook wel kruip genoemd. Daardoor veranderen de functionele eigenschappen van de betreffende weefsels. Aannemelijk wordt gemaakt dat dit na verloop van tijd kan leiden tot RSI-gerelateerde klachtenbeelden, zoals blokkeringen in de wervelkolom en verhoogde spierspanningen. Verder wordt ingegaan op de rol van bindweefsel in een spier, waarmee getracht wordt het inzicht te vergroten in de ontstaansmechanismen van vooral de statische vorm van RSI. Ter preventie van RSI wordt gepleit voor een 24-uurs aanpak, waarbij alle houdingen en activiteiten worden betrokken die het collageene systeem belasten.

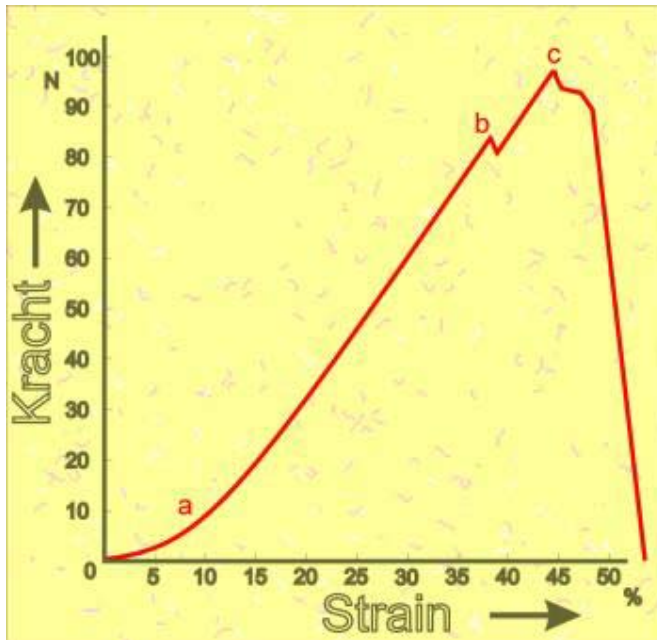
Inleiding

Uit een onderzoek uitgevoerd door het CBS (Otten e.a. 1998) komt naar voren dat van de onderzochte aspecten van werkbelasting, statische houdingsbelasting het sterkst gerelateerd is aan RSI. Hierbij valt op dat ook als er relatief weinig kracht gebruikt wordt, er toch klachten kunnen ontstaan. Als mogelijke verklaring daarvoor wordt wel een afname van de doorbloeding in spieren genoemd (Edwards, 1988). De doorbloeding in de spieren van de onderarm blijkt bij continu statisch aanspannen bij 10% van de maximale kracht al onvoldoende te zijn (Bystrom & Kilbom, 1990). Ophoping van afvalstoffen en prikkeling van zenuwuiteinden zou dan het gevolg kunnen zijn. Toch lijkt een verminderde doorbloeding niet alle symptomen te kunnen verklaren en wordt het achterliggende mechanisme van de statische component nog steeds als onduidelijk en mysterieus omschreven (Peereboom 1999). Het doel van dit artikel is een bijdrage te leveren aan het doorgronden van enkele tot nu onbelicht gebleven aspecten van statische belasting om daarmee het inzicht in het ontstaan van RSI te vergroten. Daartoe worden enkele eigenschappen van collageen bindweefsel belicht en wordt aangegeven wat de gevolgen kunnen zijn van duurbelasting voor dit weefsel.

Collageen bindweefsel

Collageen bindweefsel speelt een belangrijke rol in het overbrengen van krachten en komt onder meer voor in spieren, pezen, tussenwervelschijven, gewrichtsbanden en gewrichtskapsels. Indien een trekkracht wordt uitgeoefend op een collageene vezel, wordt het langer. De relatie tussen de uitgeoefende kracht en het verlengen van collageen wordt weergegeven in figuur 1. In het voetgedeelte van dit lengte-kracht diagram (bij een kleine kracht) is sprake van despiralisering van de collageene vezels. Als deze vezels geheel gedespiraliseerd zijn, begint het lineaire gedeelte. In dit deel van de curve is er een lineair verband tussen kracht en verlenging. Aan het eind van het lineaire deel begint de verstuijkingfase. Geleidelijk vindt meer beschadiging plaats en scheuren steeds meer vezels

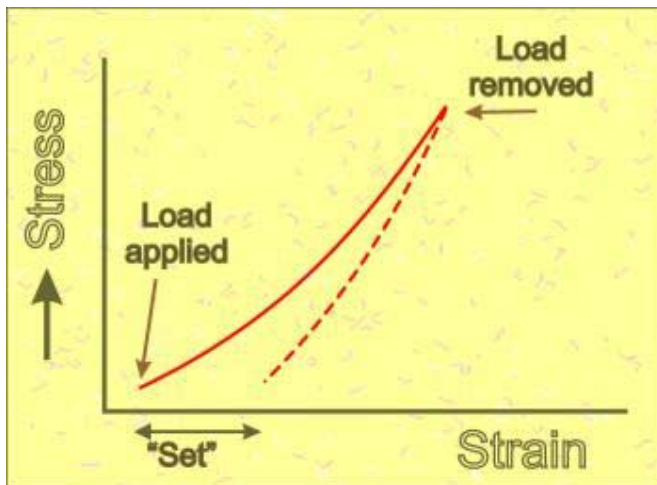
totdat het weefsel geheel gescheurd is. Onder normale omstandigheden beperkt de lengte-kracht relatie zich tot het voetgedeelte en het begin van het lineaire gedeelte.



Figuur 1

Het lengte-krachtdiagram van collageen. Op de horizontale as is de verlenging (strain) weergegeven in een percentage van de rustlengte. In het voetgedeelte a vindt despiralisering plaats. Bij b begint de verstuikingfase en bij c is er sprake van een totale scheur. (Naar Rozendal e.a., 1968)

Bij het verlengen van collageen wordt energie opgenomen. Bij het opheffen van de kracht komt deze energie weer vrij, maar niet voor de volle 100%. Een gedeelte van de energie wordt door het weefsel opgenomen; dit wordt histerese genoemd (Rozendal 1968). Het gevolg daarvan is dat het collageen weefsel tijdelijk enigszins langer wordt. Door rust wordt de beginsituatie na verloop van tijd weer bereikt. De verlenging die optreedt nadat de trekkracht is opgeheven, wordt wel aangeduid met 'set' (Twomey 1982, zie figuur 2).



Figuur 2

De verlenging van collageen die optreedt nadat de trekkracht is opgeheven wordt aangeduid met 'set'. Op de horizontale as is de verlenging van collageen weergegeven (strain) en op de verticale as de spanning (stress, kracht per oppervlakte). (Naar Twomey, 1982)

Statische belasting en collageen

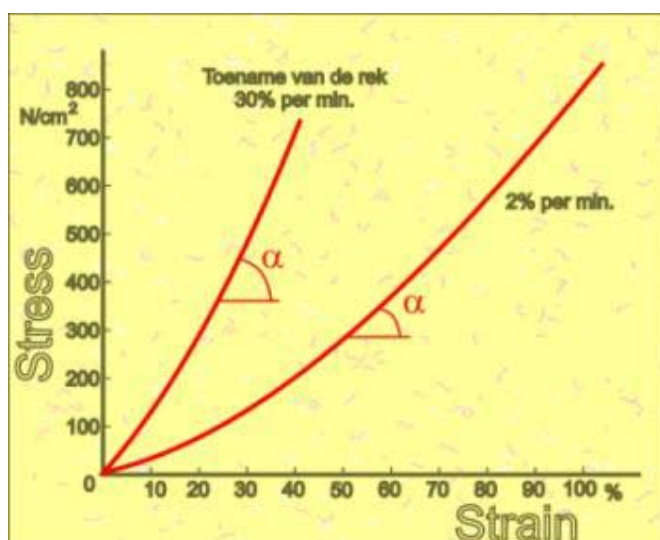
Indien een trekkracht wordt uitgeoefend op collageen bindweefsel zal er direct sprake zijn van een bepaalde verlenging. Als de opgelegde belasting gehandhaafd blijft, zal het collageen bindweefsel geleidelijk verder verlengen. Dit verschijnsel wordt kruip (creep) genoemd (Rozendal, 1968, Twomey 1982). Het bindweefsel 'kruip' als het ware steeds verder.

Kruip: De progressieve deformatie van weefsel door een constante belasting indien dit weefsel ruim onder de verstuikingrens wordt belast.

Histerese: De absorptie van energie door het bindweefsel na vervorming. Er komt na het opheffen van de opgelegde kracht minder energie vrij dan nodig was voor de vervorming.

Set: Het tijdelijk langer zijn van collageen bindweefsel nadat de belasting is opgeheven.

De snelheid van uitrekken van het collageen weefsel is van invloed op de mate waarin het weefsel verlengt. Hoe sneller een beweging plaatsvindt, hoe stijver het bindweefsel zich gedraagt. Een en ander wordt weergegeven in figuur 3. Hierin is te zien dat bij een lage strainrate (snelheid uitgedrukt in percentage van de rustlengte per minuut) de lengte-kracht curve minder steil wordt. De verschillen zijn substantieel. Bij gelijke kracht geldt dat hoe langzamer de snelheid van bewegen is, des te meer het collageen bindweefsel wordt uitgerekt. Indien de snelheid nadert tot 0 (er vindt nauwelijks tot geen beweging meer plaats), is de verlenging maximaal. Dit is het geval bij statische belasting waarbij een trekkracht wordt uitgeoefend op collageen bindweefsel.

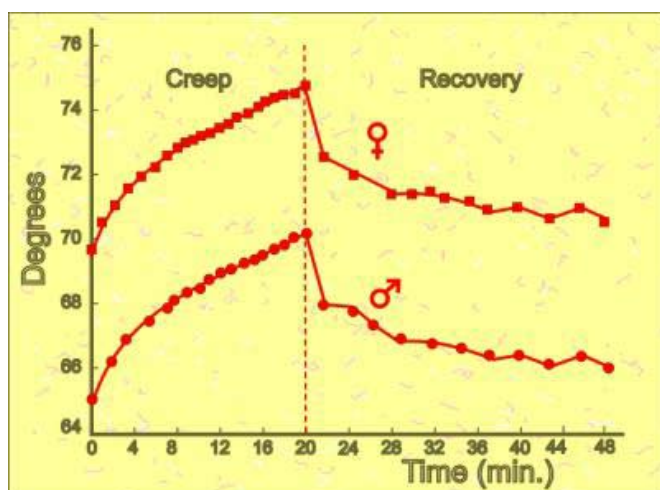


Figuur 3

Twee stress-strain curves van een ligament waarbij de belasting met twee constante snelheden is opgelegd: 2% en 30% van de rustlengte per minuut. Er treedt meer verlenging op naarmate de snelheid van bewegen lager is. (Naar Rozendal e.a., 1968)

Herstelgedrag

Naarmate het bindweefsel meer kruip vertoont, is een langere hersteltijd nodig om het weefsel weer in de beginsituatie terug te krijgen. Bij kortdurende momenten van belasting, waarbij voldoende rusttijd tussen de belastingfasen bestaat, zal dat geen enkel probleem opleveren. Maar bij statische belasting ligt dat anders. Uit onderzoek is gebleken dat na statische belasting van collageen in een tussenwervelschijf van de lage rug gedurende 20 minuten, het herstel meer dan het dubbele van deze tijd vergde (McGill e.a., 1992, zie figuur 4). De elasticiteit van collageen bindweefsel neemt dus tijdelijk af ten gevolge van statische belasting.



Figuur 4

Duurbelasting opgelegd aan tussenwervelschijven. Na het bereiken van de eindstand ($T=0$) blijkt duurbelasting te leiden tot kruip: de wervelsegmenten buigen langzaam verder. Na het opheffen van de belasting ($T=20$) blijkt het weefsel langzaam weer te herstellen. Merk op dat er verschil bestaat in rekbaarheid tussen mannen en vrouwen. (Naar Mc Gill & Brown, 1992)

Implicaties van duurbelasting

Het is aannemelijk dat het tijdelijk langer en tijdelijk minder elastisch zijn van collageen bindweefsel invloed kan hebben haar functionele eigenschappen. Om goed te kunnen doorgronden wat de gevolgen zouden kunnen zijn van overmatige kruip en histerese ten gevolge van duurbelasting, worden eerst enkele functionele eigenschappen belicht van verschillende vormen van collageen bindweefsel. Per categorie wordt vervolgens ingegaan op de mogelijke consequenties van de beschreven veranderingen voor dit bindweefsel.

A. Bindweefsel in ligamenten

Ligamenten (gewrichtsbanden) sturen de bewegingen in gewrichten (Oonk, 1988). Uit onderzoek is gebleken dat door ligamentbeschadigingen functiestoornissen kunnen optreden in gewrichten: de verzameling van momentane rotatiecentra van gewrichten verandert van plaats en van vorm (Soudan e.a., 1979, Oonk, 1988). Dit betekent dat de gewrichtsoppervlakken ten opzichte van elkaar anders gaan bewegen dan van nature het geval is. Gewrichten kunnen hierdoor stijver worden en er kunnen bewegingsbeperkingen en gewrichtsklachten ontstaan. Functiestoornissen kunnen ook leiden tot verhoogde spierspanningen, ook wel aangeduid met 'bracing' of 'bevrozing' (Doorenbosch e.a., 1997). Zowel de anta- als agonisten (spieren die elkaar tegenwerken) hebben een verhoogde spanning; er is sprake van co-contractie (het tegelijk aanspannen van spieren die elkaar tegenwerken). Bij een gescheurde kruisband in een knie bijvoorbeeld, blijken zowel de kniebuigers als de kniestrekkers tegelijk aan te spannen. Hierdoor wordt de stabiliteit, die verminderd is door de gescheurde knieband, enigszins gecompenseerd. Dit fenomeen is door verschillende auteurs gerapporteerd (Sinkjaer e.a., 1991, O'Connor, 1993) en inmiddels is ook wetenschappelijk aangetoond dat ligamentbeschadigingen inderdaad kunnen leiden tot verhoogde co-contractie (Doorenbosch, 1996).

Nu is bindweefsel dat onder invloed van duurbelasting langer is geworden niet te kwalificeren als beschadigd. We hebben hier immers te maken met een natuurlijk en reversibel verschijnsel. Toch kan er wel sprake zijn van tijdelijke functionele consequenties. Een voorbeeld.

U zit op de bank met uw hielen op een voetenbankje. De knieën zijn maximaal gestrekt en hangen ontspannen enigszins door. Uw knie bevindt zich in de eindstand en het kapsel- en bandapparaat beperkt het verder overstrekken van de knie. Na verloop van tijd ervaart u enig discomfort in de knie en als u de houding nog even volhoudt merkt u dat als u uw knie wilt buigen, deze eerst stijf is en moeilijk wil

buigen. U ervaart eveneens dat u voorzichtig moet bewegen, het lijkt er op dat u even geen 100% controle heeft over de knie. Gelukkig gaat het na een paar voorzichtige bewegingen weer beter en even later is er niets meer aan de hand.

In bovenstaand voorbeeld rekt het collageene steunweefsel (kapsel en banden) enigszins op en treedt er kruip op. Prompt blijkt dit te resulteren in stijver bewegen. Kennelijk kan overmatige kruip tengevolge van statische duurbelasting leiden tot vergelijkbare symptomen als dat het geval is bij blijvende beschadigingen van het collageen bindweefsel. Het verschil is echter het tijdelijke karakter ervan.

Indien het bindweefsel in ligamenten tengevolge van verkeerde houdingen dagelijks en soms jarenlang overmatig op spanning staat, kunnen de klachten evenwel een meer chronisch karakter krijgen. Voorbeelden daarvan zijn blokkeringen in de halswervelkolom tengevolge van nekbelastende slaaphoudingen (Ankerman e.a., 1990) en anteflexiehoofdpijn door het oprekken van de ligamenten hoog in de nek (Elkhuizen e.a., 1994). Dit laatste kan bijvoorbeeld optreden bij mensen die veel lezen en schrijven met hun nek gebogen (Jull, 1989). Bij schoolkinderen spreekt men ook wel van 'Schulkopfschmerz' (Gutmann & Wörz, 1988).

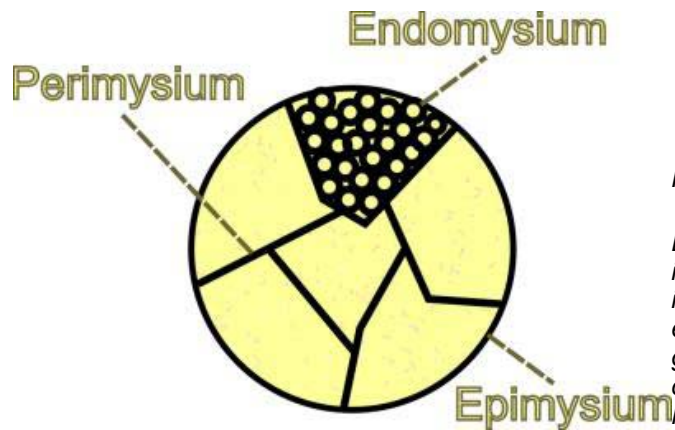
B. Bindweefsel in tussenwervelschijven

Aan de tussenwervelschijf worden diverse functies toegeschreven, zoals een schokdempende en een bewegingsturende functie. Bekend is dat ook in het bindweefsel van de tussenwervelschijf kruip kan optreden. De mens is 's ochtends zo'n 2 cm langer dan 's avonds: de circulair georiënteerde vezels in de tussenwervelschijf rekken in de loop van de dag wat uit en de hoogte van de schijf wordt kleiner. Bekend is ook dat mensen na een lange autorit (vakantie) soms stijf uit de auto stappen: er is sprake van statische duurbelasting van de tussenwervelschijven. De rek gaat als het ware uit het collageen en men moet eerst even behoedzaam bewegen om niet 'door de rug' te gaan. Het lijkt er op dat men in zo'n situatie vatbaarder is voor beschadigingen. Een verhoogde spierspanning van de rugspieren kan dan begrepen worden als een (doorgaans adequate) beschermende maatregel. Overigens is een afname van de hoogte van de tussenwervelschijf ten gevolge van statische axiale belasting zowel aangetoond in vitro (Keller 1987) als in vivo (Kaigle 1992).

Gezien het feit dat ook het bindweefsel in de tussenwervelschijf voldoende tijd nodig heeft om te herstellen (figuur 4) zal het duidelijk zijn dat gebrek aan afwisseling van beweging, vooral bij collageen belastende houdingen, leidt tot aanhoudende veranderingen in de tussenwervelschijven. Het langdurig zitten met een ronde rug wordt vaak aangeduid als een 'slechte houding' en gezien het feit dat in deze houding het bindweefsel van onder andere de tussenwervelschijven extra op spanning komt te staan, lijkt die kwalificatie terecht. Mensen die veel aaneengesloten zittend werk doen in een dergelijke houding, kunnen daarvan op den duur de gevolgen ondervinden.

C. Bindweefsel in spieren

Er zit veel bindweefsel in spieren, meer dan 50%. Een aanzienlijk deel van dit bindweefsel bevindt zich circulair rondom afzonderlijke spiervezels (endomysium), rondom groepjes spiervezels (perimysium) en rondom de gehele spierbuik (epimysium). In figuur 5 is dit weergegeven in een dwarsdoorsnede van een spier.

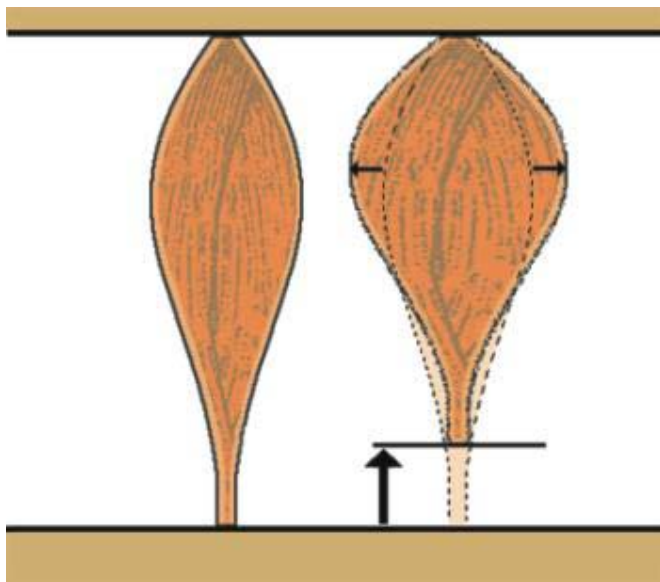


Figuur 5

Dwarsdoorsnede van een spier waarin de indeling van het bindweefsel schematisch is aangegeven. Het endomysium omhult een spiervezel, het perimysium omhult groepjes spiervezels en het epimysium omhult de gehele spierbuik. (Naar Van der Meer, 1999)

Het endomysium vormt niet altijd een separaat netwerk rondom één spiervezel. Ook uitlopers van aangrenzende spiercellen kunnen penetreren in dit netwerk. Volgens Purslow e.a. (1994) komt het regelmatig voor dat spiercellen geen directe aanhechting hebben op een pees, maar hun kracht overbrengen via het endomysium van aangrenzende spiervezels. Volgens deze auteurs vervult het endomysium op spiervezelniveau dan ook een essentiële rol in het systeem van krachttransmissie.

Recent is uit onderzoek gebleken dat het bindweefsel in spieren als geheel een belangrijke rol vervult in het overbrengen van krachten in een spier (Huijing e.a. 1998). Er kunnen twee systemen van krachttransmissie worden onderscheiden: 1) in de lengterichting van de spiervezels via de sarcomeren naar de pees en 2) via het endo-, epi- en perimysium. In het laatste systeem wordt kracht van een spiervezel overgebracht naar het laterale bindweefsel, dat op zijn beurt deze kracht overbrengt op de pees van de eigen spierbuik en/of via het epimysium op die van aangrenzende spierbuiken (Huijing 1998, Jaspers 1999). Dit is een ingenieus systeem waardoor het dikker worden van de spiervezel wordt benut voor een additionele krachttransmissie in lengterichting. In figuur 6 wordt getracht een en ander te verduidelijken.



Figuur 6

Door het dikker worden van de spierbuik vindt rek plaats op het laterale bindweefselcomplex (zowel op het endo-, peri- als epimysium), waardoor in lengterichting een trekkracht ontstaat. Voor verdere verklaring zie tekst.

Andere functies van collageen bindweefsel in een spier zijn de opslag van energie en het transport van energie over meerdere gewrichten. De geestelijke vader van de klapschaats, Van Ingen Schenau, toonde aan dat poly-articulaire spieren (spieren die over meer dan één gewricht lopen) een belangrijke rol spelen bij het efficiënt gebruiken van energie (Van Ingen Schenau e.a., 1987). Het valt buiten het bestek van dit artikel om op zijn baanbrekende werk uitvoerig in te gaan, maar van belang is wel dat het collageen bindweefsel in spieren en pezen hierbij een cruciale rol vervult.

In het bindweefsel van spieren kan, net als in ligamenten en tussenwervelschijven, kruip optreden (Purslow 1989). Opvallend is dat ook geringe belasting al leidt tot een aantoonbare tijdsafhankelijke kruiprespons in bindweefsel (Purslow e.a.1998). Bij voldoende afwisseling in werkzaamheden en/of voldoende rustmomenten zal het bindweefsel in de spier voldoende gelegenheid krijgen om te herstellen. Als het bindweefsel echter niet de gelegenheid krijgt tot voldoende herstel (bijvoorbeeld bij statische belasting) en dit is gedurende lange tijd het geval, dan kunnen de veranderingen een meer structureel karakter krijgen. De collageene vezels liggen ingebed in een grondsubstantie (matrix) van het bindweefsel en de richting van de vezels kan in de loop van de tijd worden aangepast aan veranderde omstandigheden. Volgens Purslow & Trotter (1994) zal heroriëntatie van de collageene vezels in de matrix optreden indien zij langere tijd uitgerekt blijven.

De grootste belasting van spierbindweefsel lijkt te ontstaan als de duurbelasting optreedt in posities waarbij de spieren niet overwegend in de rustlengte verkeren. In de rustlengte van de spier is de spanning op het bindweefsel namelijk het laagst. In de eindstanden van het bereik van spieren, zowel in verkorte als in verlengde positie, neemt de spanning in de collageene vezels fors toe (Purslow 1989). Van der Meer stelde dat dat niet alleen in de eindstanden het geval is, maar dat de spanning in de collageene vezels toeneemt zodra de spierlengte kleiner of groter wordt dan de rustlengte (Van der Meer 1999).

Naar de consequenties van de veranderingen van het spierbindweefsel kan slechts gegist worden. Rowe stelde dat verandering van de fysische eigenschappen van perimysium de eigenschappen van een spier beïnvloedt (Purslow 1988), maar hoe en in welke mate dat het geval is, is vooralsnog onduidelijk. Het lijkt zeer wel mogelijk dat deze veranderingen de functie die het bindweefsel vervult negatief beïnvloeden. Daarbij zou gedacht kunnen worden aan:

1. Vermindering van de contributie van het laterale spierbindweefsel aan de krachttransmissie. Hierdoor wordt het in serie geschakelde transmissiesysteem (via sarcomeren-aponeurose-pees) naar verwachting meer belast. Een biologisch systeem als een organisme, waaronder de mens, 'denkt' immers resultaatgericht. Indien men bijvoorbeeld langzaam een emmer leeggooit, wordt steeds momentaan exact zoveel kracht gegenereerd als nodig is. Anders zou het doel niet zonder morsen bereikt worden. Indien nu, door verminderde krachttransmissie via het laterale complex een beoogd resultaat niet bereikt dreigt te worden, zal een biologisch systeem via feedbackmechanismen de spierspanning direct toe laten nemen tot een adequaat niveau. Op deze wijze kan een vicieuze cirkel ontstaan die slechts door een fundamentele verandering van de aard en/of de dosering van activiteiten (voldoende rust) lijkt te kunnen worden bestreden.
2. Vermindering van de overdrachts capaciteit van energie door poly-articulaire spieren, waardoor de efficiëntie vermindert. Door vermindering van de efficiëntie zou op vergelijkbare wijze als hierboven beschreven de spierspanning kunnen toenemen.
3. Vermindering van de interne organisatie in de spier. Door Van der Meer (1999) is betoogd dat het bindweefsel in spieren een rol speelt bij de regulatie van het aantal sarcomeren in spiervezels. Het is evenwel onduidelijk of dit daadwerkelijk het geval is.

A. Bindweefsel in pezen

Schmutz e.a. (1995) hebben onderzoek verricht naar het bindweefselgedrag in pezen. Gebleken is dat ook in peesweefsel kruip kan optreden. De auteurs vergeleken de kruiprespons van pezen van de handflexoren van vers menselijk kadavermateriaal onder één statische en 2 cyclische condities (1Hz en ¼ Hz). Deze drie condities werden bij 4 belastingniveaus onderzocht (10,20,50 en 100N). Ter vergelijking: bij typen bereiken de krachten in deze pezen een waarde van ongeveer 60N. Gebleken is dat de kruiprespons bij alle 4 belastingniveaus groter was bij de statische conditie (na 30 min.) dan bij de cyclische condities (na 100 min.), maar wel beperkt bleef tot 1.8%. De auteurs concludeerden dat dit waarschijnlijk te gering is om blijvende schade aan pezen te veroorzaken.

Discussie

In dit artikel is beschreven wat de invloed is van statische belasting op collageen bindweefsel. Statische belasting heeft evenwel ook invloed op andere systemen, zoals bijvoorbeeld de doorbloeding. In veel literatuur wordt een insufficiënte doorbloeding genoemd als oorzaak van RSI. Door het achterblijven van afvalstoffen zouden pijnreceptoren worden geprikkeld. Een ander, minder algemeen bekend aspect van statische belasting is haar invloed op het smeer- en voedingssysteem van gewrichtskraakbeen. De synovia (gewrichtssmeer) is een thixotrope vloeistof (Rozendal, 1968), hetgeen inhoudt dat zij bij gebrek aan bewegen stroperiger wordt. Dit kan bij statische belasting voor een deel ook de toegenomen stijfheid van gewrichten verklaren, zij het waarschijnlijk slechts tijdelijk. De gepresenteerde visie van de invloed van statische duurbelasting op het collageen systeem is dan ook prima te plaatsen naast andere verklaringmodellen.

Een veel genoemde verklaring voor overbelasting van spiervezels is de Cinderella-theorie, ook wel Assepoester-syndroom genoemd (Hägg, 1991). In een spier zouden steeds dezelfde spiervezels aanspannen waardoor deze vezels overbelast raken. Daarmee wordt weliswaar aannemelijk gemaakt *dat* er selectieve overbelasting plaatsvindt in sommige spiervezels, maar er wordt niet aangegeven *wat* er nu precies in deze vezels verandert. De in dit artikel beschreven veranderingen van collageen spierbindweefsel kunnen die leemte opvullen. In dit verband dringt de term 'spieremfyseem' zich op, analoog aan de bekende aandoening longemfyseem ('rek uit de longen'). Door dag in dag uit overactief te zijn zou in het collateraal bindweefselcomplex van deze assepoester-vezels kruip kunnen optreden en zou op den duur de rek er uit kunnen gaan.

Dit artikel is primair gefocused op de gevolgen van statische belasting. Dat lijkt ook relevant aangezien uit onderzoek is gebleken dat statische belasting een belangrijke determinant is van RSI (Otten e.a. 1998). Er bestaan echter ook vormen van RSI die optreden bij dynamische en repeterende werkzaamheden, zoals schouderklachten bij metselaars en caissières. Er zijn twee argumenten te noemen waarom ook in deze situaties duurbelasting van collageen bindweefsel een rol zou kunnen spelen. Ten eerste kan er bij dynamische RSI ook sprake zijn van enige statische aspecten. Een caissière beweegt weliswaar voortdurend haar armen, maar de stabiliserende spieren van het schouderblad staan wel langdurig aangespannen in een houding die voor deze spieren niet erg afwisselend is. En voor een metselaar die een dagje aan het voegen is, kan hetzelfde opgaan.

Ten tweede lijkt bij dynamische werkzaamheden ook sprake te kunnen zijn van het uitrekken van collageen, histerese, set en verlies aan elasticiteit. De definitie van kruip (progressieve deformatie van collageen bindweefsel ten gevolge van een constante belasting) is echter zodanig dat dit begrip voorbehouden is voor statische situaties. De bestudeerde literatuur beschrijft de kruiprespons dan ook aan de hand van experimenten waarbij sprake is van

statische belasting (Keller e.a., 1987, Purslow 1989, Kaigle e.a., 1992, McGill e.a., 1992, Purslow & Trotter 1994, Schmutz e.a. 1995, Purslow e.a. 1998). Toch is het aannemelijk dat de beschreven veranderingen in collageen bindweefsel ook kunnen optreden bij dynamische werkzaamheden *indien* er geruime tijd een trekkracht wordt uitgeoefend op collageen bindweefsel, zoals bij het continu aanspannen van steeds dezelfde spieren. Het maakt dan niet zoveel verschil of de spieren tijdens dit voortdurend aanspannen bewegingen maken of statisch werkzaam zijn. Het optreden van rek in het collageen bindweefsel lijkt dan ook meer afhankelijk te zijn van het ontbreken van voldoende hersteltijd, dan van het statische of dynamische karakter van de werkzaamheden.

Schmultz e.a. (1995) concludeerden dat kruip waarschijnlijk niet verantwoordelijk is voor het ontstaan van blijvende schade aan peesweefsel. Hierbij kan een aantal kanttekeningen worden geplaatst. Ten eerste werd de duur van de belasting in het onderzoek beperkt tot 30 resp. 100 minuten voor de statische en cyclische conditie. Aangezien RSI pas optreedt na veel langere tijd is het discutabel of uit dit onderzoek de conclusie kan worden getrokken dat kruip in pezen geen rol speelt bij het ontstaan van RSI. Ten tweede betrof het kadaveronderzoek. Een proces waarbij reoriëntatie van collageene vezels in het bindweefsel een rol speelt kan dan niet worden onderzocht. En ten slotte hoeft weefsel niet echt beschadigd te worden alvorens er negatieve effecten kunnen ontstaan. Kruip en reoriëntatie van collageene vezels zijn fysiologische mechanismen en geen beschadigingen.

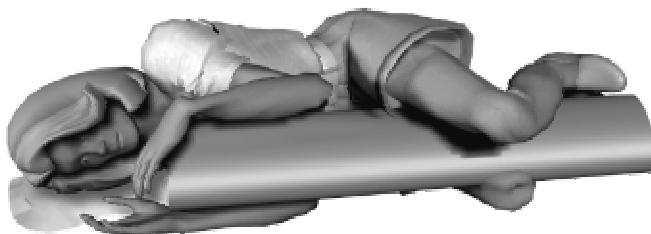
In het onderstaande worden enkele aspecten beschouwd die een relatie hebben met RSI, waarbij gekeken wordt in hoeverre deze aspecten verklaarbaar zijn tegen de achtergrond van dit artikel.

1. *De invloed van de sexe.* Bekend is dat RSI vaker voorkomt bij vrouwen dan bij mannen (Otten e.a., 1998). Bekend is ook dat er een verschil bestaat tussen mannen en vrouwen ten aanzien van de fysische aspecten van bindweefsel. Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 4. Het bindweefsel van vrouwen is gemiddeld rekbaarder dan dat van mannen. Dit zou, naast verschillen in duur en soort werkzaamheden op het werk en thuis, een andere factor kunnen zijn die de predispositie van vrouwen voor RSI kan verklaren omdat het collageen kwetsbaarder lijkt naarmate het minder trekvast is.
2. *Hypermobiliteit.* Een grotere lenigheid van gewrichten wordt genoemd als risicofactor voor het ontstaan van RSI (Van Eijsden-Besseling, 1999). Dezelfde verklaring als bij punt 1 lijkt ook hier te gelden: een grotere lenigheid duidt op minder sterk bindweefsel en dan zou dit weefsel kwetsbaarder kunnen zijn voor duurbelasting.
3. *Slechte houding.* Een slechte houding wordt als belangrijke risicofactor gezien voor het ontstaan van RSI (Van Eijsden-Besseling, 1999). Juist bij een passieve, onderuit gezakte houding komt het ligamentaire systeem op spanning te staan. Men 'hangt' dan in de eindstand van een aantal gewrichten en er zal kruip optreden. Hierbij wordt vooral de nek en het gebied tussen de schouderbladen belast waardoor blokkeringen en indirect verhoogde spierspanningen kunnen ontstaan in de borstwervelkolom, de nek en de rib-wervelverbindingen. Het feit dat is aangetoond dat houdingstraining een gunstig effect heeft op dit soort klachten ondersteunt het idee dat een slechte houding een oorzakelijke factor kan zijn (Melhorn, 1996). Niet alleen bij onderuitgezakte houdingen kan collageenbelasting optreden, ook bij houdingen waarbij de bovenarmen naar voren worden geplaatst, kan spanning ontstaan in de ligamenten van de rib-wervelverbindingen en borstwervelkolom. Dit lijkt vooral het geval indien ook de schouderbladen naar voren hangen.
4. *Reactie op manipulaties.* Door verschillende auteurs wordt gewezen op een positief (tijdelijk) effect van manipulaties door chiropraxie en manuele therapie bij sommige vormen van RSI (Van Eijsden-Besseling, 1999; Peereboom, 1999). Dit duidt er op dat kennelijk een deel van het probleem van RSI wordt veroorzaakt door blokkeringen van de wervelkolom en dat het dus niet uitsluitend spieren zijn die verantwoordelijk

- zijn voor het ontstaan van klachten. De oorzaken van dit soort functiestoornissen kunnen weer gevonden worden in het collageene systeem (Oonk, 1988).
5. *Ontbreken van een medische diagnose.* Het is opvallend dat bij RSI-patiënten slechts in een beperkt aantal gevallen een bekende medische diagnose kan worden gesteld. Bij de overgrote meerderheid kan geen letsel worden aangetoond. Dit is met de gepresenteerde visie goed te verklaren: er is namelijk ook geen echt letsel. Het betreft fysiologische aanpassingen die niet met de bekende onderzoekstechnieken zichtbaar gemaakt kunnen worden, maar die wel invloed kunnen hebben op het functioneren van de verschillende weefsels.
 6. *Multicausaliteit.* In veel artikelen wordt beschreven dat RSI een multicausaal probleem is. Houding, stress, ergonomische factoren, werkduur en het pauzeschema blijken allen in meer of mindere mate invloed te hebben op RSI (Thé e.a., 1999, Otten e.a., 1998, Ridder e.a., 1998). Opmerkelijk is dat al deze factoren invloed hebben op de duur en de mate waarin de verschillende soorten bindweefsels belast worden. Ook stress, bekend als een psycho-sociaal probleem, blijkt duidelijk invloed op de hoogte van spierspanning te hebben (Peper e.a., 1997). Bovendien zal iemand die het 'te druk' heeft waarschijnlijk minder pauzeren om zijn taak in beperkte tijd af te maken. De duurbelasting op het (spier)bindweefsel neemt daardoor ook toe.

De relatie van een aantal van bovengenoemde aspecten met RSI, zoals hypermobilititeit en het effect van manipulaties, is (nog) niet bevestigd door wetenschappelijk onderzoek. Toch lijkt het concept van fysische veranderingen in het collageen bindweefsel als anatomisch substraat van sommige vormen van RSI, goed te passen bij de diverse bekende dan wel veronderstelde risicofactoren van RSI. Verder is het onduidelijk of de veranderingen die optreden in de verschillende soorten bindweefsel tengevolge van statische duurbelasting ook verantwoordelijk kunnen zijn voor een deel van de *pijnklachten*. In elk geval lijken genoemde veranderingen wel een verklaring te kunnen geven waarom het herstel van RSI vaak zo moeizaam verloopt. De halfwaardetijd van collageen (de tijd waarin de helft van het collageen is vervangen door een nieuwe generatie) bedraagt namelijk meer dan een jaar. Structurele veranderingen zijn dus niet een twee drie hersteld.

Een ander -ten aanzien van RSI onderbelicht- aspect is de slaaphouding. Indien de statische duurbelasting overdag inderdaad haar tol eist voor wat betreft het collageene bindweefsel, dan is het zaak om dit 's nachts zoveel mogelijk te laten herstellen. Maar dan dient wel een slaaphouding te worden gekozen waarbij niet opnieuw statische trekspanning ontstaat op het bindweefsel. Bij het liggen op de buik bijvoorbeeld, ligt de nek gedraaid en wordt het bindweefsel in kapsels en ligamenten van de nekwerfvelkolom belast, terwijl het juist zou moeten ontspannen. Maar ook bij het liggen in de stabiele zijligging, een veelvoorkomende slaaphouding, dreigt overbelasting van collageen. Door het afhangen van de bovenste arm en schouder ontstaat dan spanning in het gebied tussen de schouderbladen. En ook in de nek ontstaat dan spanning doordat de romp half naar voren rolt, maar het hoofd parallel op het kussen blijft rusten. Het gebruik van een Indonesische goeling, in Nederland verkrijgbaar onder de naam 'Sleepmate', kan zorgdragen voor een collageen ontlastende slaaphouding (zie figuur 7).



Figuur 7

Door het gebruik van een sleepmate ontstaat op eenvoudige wijze een slaaphouding die niet collageen belastend is. De sleepmate is een rolvormig kussen dat comfortabel tussen de knieën en tussen de armen kan worden geplaatst. Voor verdere verklaring zie tekst.

Ook andere houdingen kunnen collageen belastend zijn, zoals het hangen op de bank bij het kijken naar de tv of bij het lezen van een boek. Hobby's zoals puzzelen, internetten en wielrennen (nek langdurig gestrekt) vormen een andere categorie die het collageene systeem kunnen belasten. Juist vanwege het feit dat de term RSI inmiddels goed is ingeburgerd als beroepsziekte bestaat het risico dat men –op zich ook terecht- wel vrij snel kijkt naar werkgebonden risicofactoren van RSI, maar dat de overige risicofactoren worden vergeten. Een 24-uurs aanpak is gewenst om de basis te leggen voor herstel van die vormen van RSI waarbij collageenbelasting een rol speelt.

RSI is, zoals bekend, een paraplubegrip. Er vallen verschillende aandoeningen onder die soms medisch te classificeren zijn, maar vaak ook niet. In dit artikel is ingegaan op enkele aspecten van duurbelasting van collageen bindweefsel. De beschreven processen zullen zich evenwel niet bij elke vorm van RSI in dezelfde mate voordoen. Het lijkt gerechtvaardigd om toekomstig onderzoek hierop toe te spitsen.

Conclusie

Indien constante trekbelasting wordt uitgeoefend op collageene vezels rekken zij geleidelijk op en worden zij minder elastisch. Dit is een tijdelijk en fysiologisch proces, ook wel kruip genoemd, dat door voldoende rust weer wordt opgeheven. Kruip heeft invloed op de fysische eigenschappen van deze vezels en daarmee ook op hun functie. Indien de statische belasting een meer chronisch karakter krijgt en er onvoldoende hersteltijd is, kan heroriëntatie optreden van de collageene vezels in het bindweefsel. Aangezien collageene vezels een belangrijk bestanddeel vormen van onder meer gewrichtskapsels, gewrichtsbanden, tussenwervelschijven, pezen en spieren, kan een en ander verschillende consequenties hebben. Zowel functiestoornissen van gewrichten, blokkeringen in de wervelkolom, een minder efficiënte krachttransmissie in spieren en verhoogde spierspanningen zouden het gevolg kunnen zijn.

De beschreven veranderingen lijken primair een rol te kunnen spelen bij statische RSI, maar bij sommige vormen van dynamische RSI zou dat ook het geval kunnen zijn. Met name als er tijdens de dynamische werkzaamheden onvoldoende hersteltijd is voor de belaste weefsels.

Het concept van veranderingen in het bindweefsel als anatomisch substraat van sommige vormen van RSI blijkt goed aan te sluiten bij de in de literatuur vermelde risicofactoren van RSI zoals werkduur, te weinig pauzes, verhoogde spierspanning en stress. Tevens zou dit concept verklaren waarom medici bij RSI in de overgrote meerderheid van de gevallen geen afwijkingen kunnen vaststellen: er is namelijk ook geen echt letsel, het betreft fysiologische aanpassingen die niet met de bekende onderzoekstechnieken zichtbaar gemaakt kunnen worden.

Ten slotte wordt gepleit voor een 24-uurs aanpak waarbij alle houdingen en activiteiten worden betrokken die het collageene systeem belasten. Naast het werk en de werkhouding geldt dat bijvoorbeeld ook voor hobby's en de slaaphouding.

Summary

RSI and Collagen Tissue: a dynamic view on static load

This article deals with the influence of static load on collagen tissue. If prolonged stress is applied to collagen tissue, progressive deformation (creep) will occur. This will effect the functional properties of these tissues and it is hypothesised that this might cause RSI related symptoms such as reduced range of motion of the spine and increased muscle tension in the long term. Furthermore, the role of muscular connective tissue is being discussed in order to increase the understanding of the static manifestation of RSI. It has been argued that in order to limit the static load on collagen tissues, a 24 hours approach should be applied, during which all postures and activities that mig ht cause prolonged collagen stress are eliminated to the extend possible.

Literatuurlijst

- Ankerman, K.J. von, Ankerman, A., Keil, G., Taubert, K.
1990 Vertebragener Kopfschmerz aus banaler Ursache
Z. Physiotherapie, 42/3, 171-176
- Bystrom, S.E.G., Kilbom, A.
1990 Physiological response in the forearm during and after isometric intermittent hand grip.
European Journal of Applied Physiology, 60/6, 457-466
- Doorenbosch, C.A.M.
1996 Muscle co-ordination in force control of leg movements
Proefschrift, Vrije universiteit Amsterdam
- Doorenbosch, C., Harlaar, J.
1997 Samenwerking door tegenwerking
Versus 3/107-119
- Edwards, R.H.
1988 Hypotheses of peripheral and central mechanisms underlying occupational muscle pain and injury.
European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 57, 275-281
- Eijdsen-Besseling, M.D.F. van
1999 Medische diagnose
In: Handboek RSI, Sdu uitgevers, Den Haag, 63-74
- Elkhuizen, J.W., Oostendorp, R.A.B., Rozendal, R.H.
1994 De klinische anatomie van cervicogene hoofdpijn
Nederlands Tijdschrift voor Manuele Therapie 1/2-13 en 2/26-43
- Gutmann, G., Wörz, R.
1988 Entstehung und vorbeugung von Schulkopfschmerz
Fortschr. Med. 106 (24)/485-488
- Hägg, G.M.
1990 Lack of relation between maximal force capacity and muscle disorders caused by low level static loads – a new explanation model.
Designing for everyone: proceedings of the 11e congress of the International Ergonomics Association, Eds. Queinnec and Daniellou, Vol 1

- Huijing, P.A.
 1999 Muscle as a collagen fiber reinforced composite: a review of force transmission in muscle and whole limb
 Journal of Biomechanics, 32/329-345
- Huijing, P.A., Baan, G., Rebel, G.T.
 1998 Non-myotendinous force transmission in rat extensor digitorum longus muscle.
 The Journal of Experimental Biology 201/682-691
- Ingen Schenau, G.J. van, Bobbert, M.F., Rozendal, R.H.
 1987 The unique action of bi-articular muscles in complex movements
 Journal of Anatomy 155/1-5
- Jaspers, R.T., Brunner, R., Pel, J.J.M., Huijing, P.A.
 1999 Acute effects of intramuscular aponeurotomy on rat gastrocnemius medialis: Force transmission and sarcomere length
 Journal of Biomechanics 32/71-79
- Jull, G.
 1987 Het verband tussen hoofdpijn en de halswervelkolom
 In: Grieve, G.P., Moderne manuele therapie van de wervelkolom, 1/349-347
- Kaigle, A.M., Magnusson, M., Pope, M.H., Broman, M.H., Thansson, T.
 1992 In vivo measurement of intervertebral creep: a preliminary report
 Clinical Biomechanics, 7/59-62
- Keller, T.S., Sprengler, D.M., Hansson, T.H.
 1987 Mechanical behavior of the human lumbar spine. Creep analysis during static compressive loading
 Journal of Orthopaedic Research 5/467-478
- Meer, P. van der
 1998 Dwarsgestreept spierweefsel: de duw-verkortingscurve
 Versus, 1999, 2/88-107
- Melhorn, J.M.
 1994 A prospective study for upper-extremity cumulative trauma disorders of workers in aircraft manufacturing.
 Journal of Occupational and Environmental Medicine, 38/12, 1264-71
- McGill, S.M., Brown, S.
 1992. Creep response of the lumbar spine to prolonged full flexion
 Clinical Biomechanics 7/43-46
- O'Connor, J.J.,
 1992 Can muscle co-contraction protect knee ligaments after injury or repair?
 J. Bone and Joint Surgery, 75-B/1, 41-48
- Oonk, H.H.N.
 1987 Osteo- en arthrokinematika
 Uitgeverij Henric Graaff van Ijssel, Weert
- Otten, F., Bongers, P., Houtman, I.
 1998 De kans op RSI in Nederland
 CBS, Maandbericht Gezondheidsstatistiek, jaargang 17, november
- Peereboom, K.
 1998 Het mysterie van de statische component
 In: Dossier RSI, Arbo & Milieu 2/6-7

- Peper, E., Wilson, V.S., Taylor, W., Pierce, A., Bender, K., Tibbetts, V.
1997 Prevent computer user injury with biofeedback: Assessment and training protocol
Electromyography Applications in Physical Therapy, 9, www.bfe.org
- Purslow, P.
1989 Strain-induced reorientation of an intramuscular connective tissue network:
implications for passive muscle elasticity
Journal of Biomechanics, 22 (1)/21-31
- Purslow, P., Trotter, J.A.
1994 The morphology and mechanical properties of endomysium in series-fibred muscles:
variations with muscle length
Journal of Muscle Research and Cell Motility, 15/299-308
- Purslow, P., Wess, T.J., Hukins, D.W.L.
1998 Collagen Orientation and molecular spacing during kruip and stress-relaxation in soft
connective tissues.
Journal of Experimental Biology 201/135-142
- Ridder, G.M.T. de, Delleman, N.J.
1996 RSI te lijf met korte pauzes, literatuurstudie.
Arbeidsomstandigheden, 6, 24-29
- Rozendal, R.H., Heerkens, Y.F., Huijijng, P.A., Woittiez, R.D.
1968 Inleiding in de kinesiologie van de mens.
Educaboek BV, Culemborg
- Schmutz, W.P., France, E.P., Bloswick, D.S.
1994 Measurement of kruip strain of flexor tendons during low-force high-frequency
activities such as computer keyboard use.
Clinical Biomechanics, 10 (2)/67-72
- Sinkjaer, T., Arend5t-Nielsen, L.
1989 Knee stability and muscle coordination in patients with anterior Cruciate Ligament
Injuries; an electromyographic approach
J. Electromyography and Kinesiology 1/3, 209-217
- Soudan, K., Audekercke, R.V.
1979 Methods, difficulties and inaccuracies in the study of human joint kinematics and
patho-kinematics by the instant axis concept. Example: the knee joint
J. of Biomechanics, 12, 27-33
- Thé, K., Douwes, M.
1998 RSI: de huidige stand van kennis en de kennisleemtes geïnventariseerd
Tijdschrift voor Ergonomie, 4/30-34
- Twomey, L.
1982 Flexion Kruip Deformation and Hysteresis in the Lumbar Vertebral Column
Spine, 7 (2)/116-122