

Veel beoefenaars van sporten met plyometrische belasting hebben wel eens pijn aan hun pezen. Deze pijn kan duiden op tendinopathie. Een disbalans in spier- en peeseigenschappen is een mogelijke oorzaak voor deze sportblessure. In dit artikel wordt toegelicht hoe pezen effectief getraind kunnen worden om deze disbalans te verminderen.

## Disbalans in spier- en peeskracht

### Een oorzaak van peesblessures?

---

#### Bas Van Hooren

Pezen geven de krachten van de spieren door aan de botten. Een goede samenwerking tussen spieren en pezen is belangrijk voor optimaal presteren en het voorkomen van blessures. Wanneer een spier samen-trekt, wordt de pees – na verloop van de eventuele stijgtijd - opge-rekt.<sup>1</sup> Als een sterke spier aan een relatief zwakke (meegevende) pees trekt, zal deze pees veel rekken (zie figuur 1). Teveel rek kan leiden tot microblessures in de extracellulaire matrix door collageendeformaties en scheuren in peesvezels. Wanneer dit meerdere keren herhaald wordt zonder voldoende herstel kan dit uiteindelijk leiden tot (macro)blessures zoals tendinopathie.<sup>2,3</sup> Wanneer een

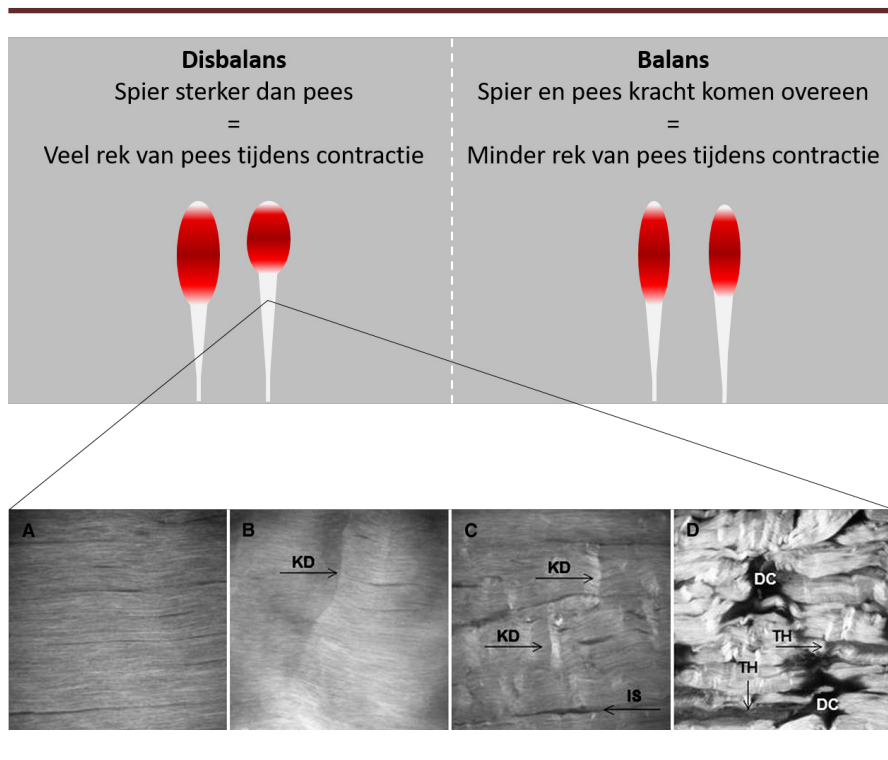
spier sterker wordt, moet dus ook de pees sterker worden en moeten diens mechanische eigenschappen zich aan-passen. Een toename in de stijfheid van de pees zorgt voor minder rek bij een gelijke kracht en dient als een be-schermend mechanisme om te grote rek en de daarbij behorende schade te voorkomen. Sterkere spieren hebben daarom ook stijvere pezen nodig.

#### Disbalans in spier- en pees-eigenschappen door training

Spieren en pezen passen zich aan (adaptatie) op basis van mechanische belasting en zijn dus gevoelig voor mechanische stimuli.<sup>5,6</sup> De omzetting van mechanische stimuli

#### Peesadaptaties door training

Een pees kan stijver worden door een grotere dwarsdoorsnede en/of een verandering in de materiële eigenschappen.<sup>2,5</sup> Een voorbeeld met een dik en een dun elastiek kan als analogie worden gebruikt om dit beter te begrijpen. Wanneer beide elastieken van hetzelfde materiaal gemaakt zijn, zal het dunne elastiek bij een gelijke trekkracht meer rekken dan het dikke, stijvere elastiek. Als beide elastieken echter even dik zijn, maar het ene van stijf synthetische rubber en het andere van meegevend natuurlijke rubber is gemaakt, dan zal het synthetische elastiek minder rekken dan het natuurlijke elastiek. Op eenzelfde manier zal een dikkere pees doorgaans ook stijver zijn dan een dunner pees en daarom minder rekken, maar kunnen pezen met een gelijke dwarsdoorsnede ook andere stijfheden hebben door andere materiële eigenschappen. De stijfheid gecor-rigeerd voor dwarsdoorsnede wordt de *Young's modulus* genoemd.



**Figuur 1** | Linksboven: disbalans tussen spier- en peeseigenschappen. Een sterke spier (grote dwarsdoorsnede) die aan een meegeevende pees trekt, zorgt voor veel rek. Rechtsboven: balans tussen spier- en peeseigenschappen. Contractie van het spierweefsel resulteert in een geringere rek van de pees.

Beneden: Multifotonmicroscopische beelden van rattenpezen na veelvuldige rek (aangepast overgenomen uit Fung et al.<sup>4</sup>):

- A. Niet vermoeide pezen vertonen sterk uitgelijnde, parallelle collageenvezels zonder matrixverstoring.
- B. Bij geringe vermoeidheid wordt de peesmicrostructuur gekenmerkt door geïsoleerde geknikte vezelvervormingen (KD) die zich dwars over verschillende vezels uitstrekken.
- C. Bij matige vermoeidheid van de pees is er in de matrix een hogere dichtheid van beschadigingspatronen en zijn er bredere ruimtes tussen vezels zichtbaar (IS).
- D. Bij grote vermoeidheid is er sprake van ernstige matrixverstoringen, slechte uitlijning van vezels en nog meer en grotere ruimtes tussen vezels. Gebieden met lage signaalintensiteit suggereren vezelverdunding (TH) en, ernstiger, matrixdiscontinuïteiten (DC).

in biochemische reacties wordt mechanotransductie genoemd.<sup>7</sup> De biochemische reacties zorgen er vervolgens voor dat adaptaties plaatsvinden. Het tijdsverloop van de adaptaties<sup>2,8-11</sup> en de mechanische stimuli die deze adaptaties induceren kunnen echter verschillen tussen spierweefsel en peesweefsel.<sup>2,12-14</sup> Recente *in vivo* experimenten met de menselijke Achillespees tonen namelijk aan dat peesweefsel het effectiefst wordt getraind met behulp van hoge weerstanden die ervoor

zorgen dat de pees relatief veel gerekt wordt.<sup>13,15-17</sup> Deze experimenten toonden ook aan dat een matige contractieduur (3 seconden contractie en relaxatie) resulteerde in meer aanpassingen dan een kortere (1 seconde contractie en relaxatie) of een langere (12 seconden) contractie. Deze bevindingen suggereren dat peesweefsel 1) *minder goed* reageert (adapteert) op veel rek gedurende een korte tijd, zoals bijvoorbeeld bij plyometrische oefeningen<sup>2</sup> en 2) minimaal tot

niet adapteert ten gevolge van lage mechanische belastingen. Spierweefsel reageert relatief beter op deze beide laatste trainingsvormen. Training, en vooral grote volumes van overwegend plyometrische training, of training met lage mechanische belasting, bijvoorbeeld tijdens de revalidatie na een blessure, kunnen daarom leiden tot een disbalans in de eigenschappen van spieren en pezen. Dit kan uiteindelijk resulteren in blessures.

### Is er bewijs voor het bestaan van een disbalans?

In een recente cross-sectionele studie toonden Mersmann en collega's<sup>18</sup> aan dat adolescente volleyballers een grotere disbalans vertoonden in spierkracht van de kniestrekkers en de patellapees eigenschappen in vergelijking met recreatief actieve individuen van vergelijkbare leeftijd. De volleyballers vertoonden ook grotere fluctuaties in spierkracht van de kniestrekkers die niet gepaard gingen met een aangepaste adaptieve respons van de patellapees in de loop van een jaar.<sup>9</sup> De auteurs speculeerden dat deze disbalans zou kunnen bijdragen aan de ontwikkeling van patellapeesblessures die relatief veel voorkomen in deze populatie omdat groei en rijping, naast plyometrische belasting, kan zorgen voor een extra disbalans in de spier- en peeseigenschappen.<sup>2,9,10,19</sup> Een vergelijkbare disbalans tussen de kracht van de m. gastrocnemius / m. soleus en de stijfheid van de Achillespees en de kracht van de m. biceps femoris lange kop / m. semitendinosus en de stijfheid van de gezamenlijke proximale hamstringpees kan mogelijk ook een rol spelen bij het ontwikkelen van Achillespeestendinopathie en proximale hamstringtendinopathie. Hoewel een zwakkere pees in relatie tot een sterkere spier mogelijk kan leiden tot peesblessures, geldt dit mogelijk ook voor een te stijve pees in relatie tot een zwakkere

spier. Wanneer een externe kracht een stijve pees rekt, bijvoorbeeld de Achillespees die gerekt wordt tijdens het grondcontact bij hardlopen, zal deze pees minder rekken en meer en sneller rek doorgeven aan de spiervezels. Dit kan vervolgens weer leiden tot spierscheuren. Kortom, een goede balans tussen spier- en peeseigenschappen is belangrijk om blessures te voorkomen.

## Sportprestaties

De meeste onderzoeken naar een disbalans focussen op de relatie met sportblessures, maar ook vanuit prestatief oogpunt is een goede balans tussen spier- en peeseigenschappen belangrijk. Een te veel meegeevende pees kan namelijk zorgen voor prestatieverlies, omdat de spiervezels minder weerstand zullen ervaren en daardoor sneller zullen verkorten. Hierdoor werken de spiervezels in een minder gunstig kracht-lengte-snelheid bereik, wat uiteindelijk resulteert in minder krachtproductie of meer energieverbruik om dezelfde kracht te leveren.<sup>20</sup> Andersom kan een te stijve pees ook prestatieverlies opleveren doordat hij minder elastische energie kan opslaan. Het voorkomen van een disbalans tussen spier en pees is daarom ook verstandig vanuit een prestatief oogpunt.

## Effectieve training van pezen

Een disbalans in spier- en peeseigenschappen kan mogelijk voorkomen worden door regelmatig krachtoefeningen uit te voeren. Om effectief te zijn voor de pees moeten deze oefeningen wel voldoen aan enkele eigenschappen:

### Mechanische belasting

*In vivo* experimenten bij de menselijke Achillespees tonen aan dat een rek van zo'n 5% optimaal is om de stijfheid van de pees te trainen.<sup>15,16</sup> Dit komt overeen met de rek die in een *in vitro* peesmodel leidde tot de grootste toename in fosforylering (~activatie)

van een eiwit (ERK1/2) dat betrokken is bij het aanmaken van collageen.<sup>21</sup> Zowel bij de *in vivo* als *in vitro* experimenten bleek dat minder rek tot minder adaptaties/activatie leidde. Om voldoende rek op de pees te krijgen, moet de spier sterk samentrekken. Een gewicht van >85-90% van het maximaal tilbare gewicht leidt tot een sterke spiercontractie en voldoende rek (~5%) op de pees om te zorgen voor een sterke stimulus tot adaptatie.<sup>2,17</sup> Een grote bewegingsuitslag kan met een minder sterke contractie ook voldoende rek teweeg brengen, maar kan tevens leiden tot meer compressie van het peesweefsel. Omdat dit een risicofactor voor tendinopathie is<sup>22</sup>, heeft een kleinere bewegingsuitslag met een sterkere spiercontractie daarom de voorkeur.

### Duur van de belasting

Als de mechanische belasting maar kort duurt (bijvoorbeeld 100-400 ms, zoals bij plyometrische vormen), wordt de rek niet erg effectief doorgegeven naar het cellulair niveau, door mechanismen als het roteren en glijden van peesvezels.<sup>23-25</sup> Hierdoor wordt de pees niet goed gestimuleerd om te adapteren. Met andere woorden: er is geen effectieve mechanotransductie. Uit *in vivo* onderzoeken blijkt dat er bij een contractieduur van zo'n drie seconden met een rustperiode van drie seconden wel een effectieve mechanotransductie plaatsvindt, maar ook dat een duur van 12 seconden geen extra voordelig effect heeft.<sup>13,15-17</sup> Deze bevindingen komen overeen met de resultaten van *in vitro* onderzoek<sup>21</sup> waarin de activiteit van een eiwit dat betrokken is bij de aanmaak van collageen het hoogste was bij een contractieduur van twee seconden.



Back squat

Kortere (één seconde) en langere (10 seconden) contracties resulteerden in een lagere activiteit. Deze bevindingen suggereren dat een contractieduur van grofweg drie seconden optimaal is om adaptaties te bewerkstelligen in (gezond) peesweefsel.

### Rustperiode

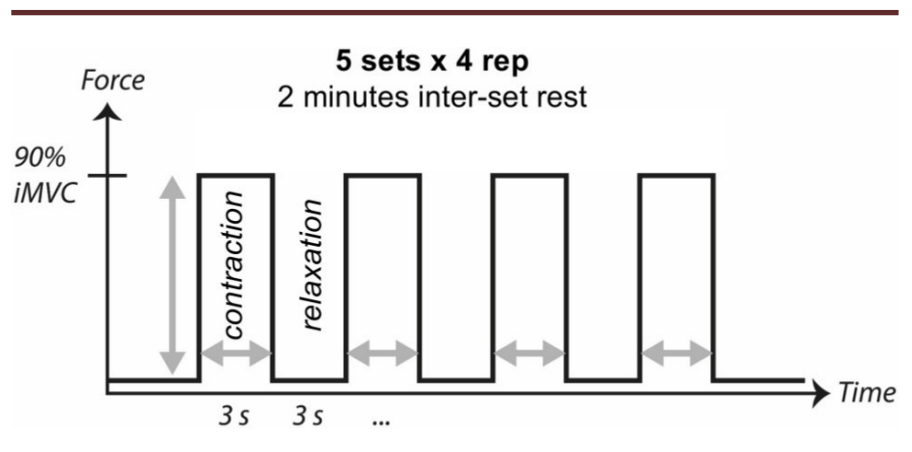
Helaas is er geen *in vivo* onderzoek gedaan naar de optimale rustperiode tussen setjes of trainingen bij peestraining. Omdat de resultaten van *in vitro* en *in vivo* experimenten echter redelijk goed overeenkomen wat betreft de optimale intensiteit en duur van de belasting, bieden *in vitro* experimenten hier een uitkomst. In deze experimenten is het peesweefsel na verschillende periodes opnieuw getraind en bleek, dat het eerder genoemde eiwit na een rustperiode van zo'n zes uur weer maximaal op rek reageerde.<sup>21,26</sup> Het lijkt daarom verstandig om minimaal zes uur rust te houden tussen peesgerichte trainingen. Dit houdt tevens in dat de pees meerdere keren op een dag getraind zou kunnen worden.

### Andere overwegingen

Hoewel het contractietype (concentrisch, excentrisch of isometrisch) niet van primair belang is bij het induceren van mechanische adaptaties aan pezen<sup>5,17,27</sup>, is het wel belangrijk om rekening te houden met enkele voor- en nadelen van de verschillende trainingsmethodes.<sup>2,28</sup> Bij dynamische (concentrisch-excentrische) training komen de hoge krachten op de pees maar op een bepaald moment in de oefening voor, door de veranderende momentsarmen. Er wordt daarom aangeraden om de duur van deze bewegingen te verlengen naar zo'n zes seconden, zodat de stimulus lang genoeg is voor effectieve mechanotransductie.<sup>2</sup> Ook kan de positie waarin de krachten op de pees het hoogst zijn kort vastgehouden worden, bijvoorbeeld rond de 60° knieflexie in een back squat (zie foto links) voor de kracht op de patellapees.



Isometrische belasting van de Achillespees rond een neutrale enkelstand.



**Figuur 2** | Protocol voor peestraining volgens de huidige wetenschappelijke inzichten. Overgenomen uit Bohm et al.<sup>17</sup>

Bij isometrische training wordt aangeraden om rond de optimumlengte te trainen omdat hier de meeste kracht geproduceerd kan worden en er dus veel kracht op de pees terecht komt. Het voordeel hierbij is dat de duur en intensiteit gemakkelijker gecontroleerd kunnen

worden dan bij dynamische training. Ook kunnen oefeningen worden gekozen waarin compressie op de pezen grotendeels voorkomen wordt. Zo kan het trainen van de Achillespees gedaan worden rond een neutrale stand van de enkel (zie foto) en kan het trainen van de proximale hamstringpees plaatsvinden met een neutrale heuppositie en een bijna gestrekte knie in de Roman chair. Verder zijn er aanwijzingen dat isometrische contracties een sterker pijnverminderend effect hebben dan dynamische contracties<sup>29,30</sup>, al wordt dit niet door alle onderzoeken bevestigd.<sup>31</sup> In het geval van een isometrische oefening kan het protocol in figuur 2 worden aangehouden. Er wordt aangeraden om dit drie keer per week toe te passen met zo'n twee minuten rust tussen de setjes.

### Vergelijking met bestaande tendinopathie protocollen

Bij het behandelen van de veel voorkomende Achillespeestendinopathie worden vaak *calf raises* uitgevoerd door bijvoorbeeld op een trap te staan en deze met het eigen lichaamsgewicht uit te voeren. Hoewel deze oefeningen doorgaans redelijk effectief zijn in het behandelen en voorkomen van tendinopathie, is de mecha-

nische belasting vaak laag (< 85-90% 1RM), zeker voor beter getrainde individuen. Er is gesuggereerd dat protocollen met een lage mechanische belasting zoals *calf raises* kunnen leiden tot een grotere disbalans in spier- en peeseigenschappen, doordat de lage mechanische belasting meer effect heeft op de spier dan op de pees.<sup>2</sup> Deze protocollen lijken daarom niet ideaal voor het trainen van de pees en zouden wellicht beter vervangen kunnen worden door protocollen die zorgen voor een zwaardere mechanische belasting op de pees. Ook uit een systematische review blijkt dat zware krachttraining mogelijke voordelen heeft boven (onder andere) pure excentrische training<sup>32</sup>, al is het bewijs hiervoor niet erg sterk en lijkt het extra voordeel minimaal.<sup>33</sup>

### Stress-relaxatie

Recent is in verschillende onderzoeken een relatief lange contractieduur gebruikt bij de behandeling van tendinopathie.<sup>30,31,34-36</sup> Zo hebben Rio et al.<sup>30</sup> gevonden dat 5 x 45 seconden isometrische contracties op 80% van de maximale isometrische contractiekracht zorgt voor acute pijnverlichting en ook een verminderde pijn op de lange termijn bij patellatendinopathie. In een ander onderzoek werd ook een verlichting van pijn gevonden bij individuen met patellatendinopathie met een vergelijkbaar isometrisch of dynamisch protocol, maar de pijnvermindering correspondeerde niet met een verandering in de peesstructuur.<sup>36</sup> Recent onderzoek vond echter geen acute pijnverlichting met een vergelijkbaar isometrisch protocol bij individuen met Achilles-tendinopathie.<sup>31</sup>

De contractieduur die in deze onderzoeken werd gebruikt is - op basis van de eerder besproken onderzoeken - langer dan optimaal. Ook hier kan daarom de vraag worden gesteld of deze protocollen wel optimaal zijn. De eerder besproken *in vivo* onderzoeken zijn echter uitgevoerd op pezen van mensen zonder tendi-

nopathie en het *in vitro* onderzoek is uitgevoerd op een 'gezond' stuk peesweefsel. Bij tendinopathie is er echter weefselschade<sup>37,38</sup> (al vinden niet alle onderzoeken dit<sup>39</sup>) en wanneer een beschadigde pees belast wordt, 'beschermt' het sterke en intacte peesweefsel het minder sterke en beschadigde weefsel. Dit effect wordt ook wel 'stress shielding' genoemd. Wanneer de pees belast wordt, zal dan ook vooral het gezonde weefsel belast worden. Het beschadigde weefsel wordt hierdoor niet optimaal geprikkeld om te adapteren. Om het beschadigde weefsel toch te belasten kan gebruikt worden gemaakt van het stress-relaxatie effect. Stress-relaxatie is een eigenschap van visco-elastische materialen (zoals pezen) en houdt in dat er bij een gelijk blijvende rek over de tijd een afname van de spanning optreedt, onder andere doordat water verplaatst wordt en vezels glijden ten opzichte van elkaar.<sup>34,40</sup> Doordat de spanning in de onbeschadigde peesvezels langzaam afneemt, wordt het beschadigde weefsel meer belast en daarmee geprikkeld om te adapteren. Binnen 30 seconden wordt het grootste deel van dit effect bereikt.<sup>40</sup> Mogelijk zijn daarom bij tendinopathie langere contracties nodig, om ook het beschadigde weefsel te belasten en te prikkelen tot adaptatie. Hier staat echter tegenover dat veranderingen in de peesstructuur niet gevonden zijn na vier weken training met deze langere contracties, ondanks verbeteringen in pijn.<sup>36</sup> Hoewel dit erop kan wijzen dat de structurele veranderingen plaatsvinden op een schaal die kleiner is dan onderzocht kan worden met de huidige echografietechnieken, kan het er ook op duiden dat ook deze protocollen niet erg effectief zijn om (vooral het beschadigde) peesweefsel te prikkelen tot adaptatie. Naast een verandering in de mechanische eigenschappen van de pees kan belasting ook zorgen voor veranderingen in pijn en aansturing vanuit het centrale zenuwstelsel.<sup>41</sup> Wellicht worden deze adaptaties beter getraind

met een protocol waarbij er een langere contractieduur is. Uit recent onderzoek<sup>42</sup> blijkt echter dat een contractieduur van 10 seconden en 40 seconden even effectief zijn in het verminderen van de pijn, zolang de totale tijd onder spanning maar gelijk is. Of een nog korter protocol (3 seconden contractie) ook even effectief is, dient nog onderzocht te worden.

Tot die tijd lijkt het verstandig om bij individuen met tendinopathie ook langere contracties te gebruiken, zeker omdat veranderingen in peesstructuur (en mechanische eigenschappen) niet altijd goed samenhangen met pijn.<sup>36,43</sup>

### Gelatine

Recent is aangetoond dat het innemen van 15 gram gelatine in combinatie met ~ 225 mg vitamine C (uit zo'n 30 ml sinaasappelsap) een uur voorafgaand aan een trainingsprotocol zorgt voor een toename in collageensynthese in vergelijking met de inname van een placebo.<sup>34,44</sup> Dit supplement kan daarom mogelijk blessurepreventief of tijdens de revalidatie<sup>34</sup> worden gebruikt, naast de eerder beschreven oefenprotocollen. Zo heeft een recent onderzoek<sup>45</sup> met 18 deelnemers aangetoond dat het volgen van oefentherapie (2x per dag 90 herhalingen excentrische *calf raises* met gestrekt been en gebogen knie) voor Achillespees-tendinopathie betere resultaten opleverde wanneer dit gecombineerd werd met het innemen van 2,5 gram gelatine<sup>30</sup> minuten voorafgaand aan de inspanning (en nog een keer later op de dag). Belangrijk bij het innemen van gelatine is dat de hoeveelheid eiwitten in de gelatine kan verschillen door bereidingsmethoden. Om een gestandaardiseerde, voldoende grote hoeveelheid binnen te krijgen, hebben supplementen daarom de voorkeur.<sup>46</sup> Verder zorgt 15 gram gelatine voor een grotere proteïnesynthese dan het innemen van 5 gram en piekt de proteïneconcentratie rond een uur na de inname.<sup>44</sup>

## Conclusie

Een disbalans in spier- en pees-eigenschappen kan blessures veroorzaken, maar kan mogelijk voorkomen worden door regelmatig zware krachttraining uit te voeren.

## Over de auteur

**Bas Van Hooren** is bewegingswetenschapper en op freelance basis werkzaam als sportwetenschappelijk adviseur en fysieke trainer. Tevens is hij atleet, docent aan Fontys Sporthogeschool, vaste medewerker van *Sportgericht* en bezig met promotieonderzoek aan de Universiteit Maastricht.  
E-mail: basvanhooren@hotmail.com, website: basvanhooren.com.

1. Van Hooren B & Bosch F (2016). Influence of muscle slack on high-intensity sport performance. *Strength and Conditioning Journal*, 38 (5), 75-87.
2. Mersmann F et al. (2017). Imbalances in the development of muscle and tendon as risk factor for tendinopathies in youth athletes: A review of current evidence and concepts of prevention. *Frontiers in Physiology*, 8, 987.
3. Pol R et al. (2018). From microscopic to macroscopic sports injuries. Applying the complex dynamic systems approach to sports medicine: a narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, doi: 10.1136/bjsports-2016-097395.
4. Fung DT et al. (2010). Early response to tendon fatigue damage accumulation in a novel in vivo model. *Journal of Biomechanics*, 43 (2), 274-279.
5. Magnusson SP & Kjaer M (2018). The impact of loading, unloading, ageing and injury on the human tendon. *The Journal of Physiology*, doi: 10.1113/JP275450.
6. Olsen LA et al. (2019). The skeletal muscle fiber: a mechanically sensitive cell. *European Journal of Applied Physiology*, doi: 10.1007/s00421-018-04061-x.
7. Khan KM & Scott A (2009). Mechanotherapy: how physical therapists' prescription of exercise promotes tissue repair. *British Journal of Sports Medicine*, 43 (4), 247-252.
8. Kubo K et al. (2010). Time course of changes in muscle and tendon properties during strength training and detraining. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24 (2), 322-331.
9. Mersmann F et al. (2016). Athletic training affects the uniformity of muscle and tendon adaptation during adolescence. *Journal of Applied Physiology*, 121 (4), 893-899.
10. Mersmann F et al. (2017). Muscle and tendon adaptation in adolescent athletes: A longitudinal study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27 (1), 75-82.
11. Han SW et al. (2017). Asynchronous alterations of muscle force and tendon stiffness following 8 weeks of resistance exercise with whole-body vibration in older women. *Journal of Aging and Physical Activity*, 25 (2), 287-294.
12. Kubo K et al. (2007). Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39 (10), 1801-1810.
13. Bohm S et al. (2014). Human Achilles tendon plasticity in response to cyclic strain: effect of rate and duration. *Journal of Experimental Biology*, 217 (Pt 22), 4010-4017.
14. Heinemeier KM et al. (2013). Expression of extracellular matrix components and related growth factors in human tendon and muscle after acute exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23 (3), e150-161.
15. Arampatzis A et al. (2007). Adaptational responses of the human Achilles tendon by modulation of the applied cyclic strain magnitude. *Journal of Experimental Biology*, 210 (Pt 15), 2743-2753.
16. Arampatzis A et al. (2010). Plasticity of human Achilles tendon mechanical and morphological properties in response to cyclic strain. *Journal of Biomechanics*, 43 (16), 3073-3079.
17. Bohm S et al. (2015). Human tendon adaptation in response to mechanical loading: A systematic review and meta-analysis of exercise intervention studies on healthy adults. *Sports Medicine-Open*, 1 (1), 1-18.
18. Mersmann F et al. (2017). Muscle and tendon adaptation in adolescence: elite volleyball athletes compared to untrained boys and girls. *Frontiers in Physiology*, 8, 417.
19. Mersmann F et al. (2014). Evidence of imbalanced adaptation between muscle and tendon in adolescent athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 24 (4), E283-E289.
20. Fletcher JR & MacIntosh BR (2018). Theoretical considerations for muscle-energy savings during distance running. *Journal of Biomechanics*, 73, 73-79.
21. Paxton JZ et al. (2011). Optimizing an intermittent stretch paradigm using ERK1/2 phosphorylation results in increased collagen synthesis in engineered ligaments. *Tissue Engineering Part A*, 18 (3-4), 277-284.
22. Cook J & Purdam C (2012). Is compressive load a factor in the development of tendinopathy? *British Journal of Sports Medicine*, 46 (3), 163-168.
23. Thorpe CT et al. (2013). Helical sub-structures in energy-storing tendons provide a possible mechanism for efficient energy storage and return. *Acta Biomaterialia*, 9 (8), 7948-7956.
24. Thorpe CT et al. (2014). Fascicles from energy-storing tendons show an age-specific response to cyclic fatigue loading. *Journal of the Royal Society, Interface*, 11 (92), 20131058.
25. Cheng VWT & Screen HRC (2007). The micro-structural strain response of tendon. *Journal of Materials Science*, 42 (21), 8957-8965.
26. Schmidt JB et al. (2016). Effects of intermittent and incremental cyclic stretch on ERK signaling and collagen production in engineered tissue. *Cellular and Molecular Bioengineering*, 9 (1), 55-64.
27. Heinemeier KM et al. (2007). Expression of collagen and related growth factors in rat tendon and skeletal muscle in response to specific contraction types. *The Journal of Physiology*, 582 (Pt 3), 1303-1316.
28. Lim HY & Wong SH (2018). Effects of isometric, eccentric, or heavy slow resistance exercises on pain and function in individuals with patellar tendinopathy: A systematic review. *Physiotherapy Research International*, 23 (4), e1721.
29. Rio E et al. (2015). Isometric exercise induces analgesia and reduces inhibition in patellar tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, 49 (19), 1277-1283.
30. Rio E et al. (2017). Isometric contractions are more analgesic than isotonic contractions for patellar tendon pain: An in-season randomized clinical trial. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 27 (3), 253-259.
31. O'Neill S et al. (2018). Acute sensory and motor response to 45-s heavy isometric holds for the plantar flexors in patients with Achilles tendinopathy. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, doi: 10.1007/s00167-018-5050-z.
32. Malliaras P et al. (2013). Achilles and patellar tendinopathy loading programmes: A systematic review comparing clinical outcomes and identifying potential mechanisms for effectiveness. *Sports Medicine*, 43 (4), 267-286.
33. Murphy MC et al. (2019). Efficacy of heavy eccentric calf training for treating mid-portion Achilles tendinopathy. A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, doi: 10.1136/bjsports-2018-099934.
34. Baar K (2018). Stress relaxation and targeted nutrition to treat patellar tendinopathy. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, doi: 10.1123/ijsnem.2018-0231.
35. Ark M van et al. (2016). Do isometric and isotonic exercise programs reduce pain in athletes with patellar tendinopathy in-season? A randomised clinical trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19 (9), 702-706.
36. Ark M van et al. (2018). Clinical improvements are not explained by changes in tendon structure on ultrasound tissue characterization after an exercise program for patellar tendinopathy. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 97 (10), 708-714.
37. Hernández G et al. (2016). Patellar tendon analysis by ultrasound tissue characterization; comparison between professional and amateur basketball players. Asymptomatic versus symptomatic. *Apunts Medicina de l'Esport*, 52 (194), 45-52.
38. Schie HTM van et al. (2010). Ultrasonographic tissue characterisation of human Achilles tendons: quantification of tendon structure through a novel non-invasive approach. *British Journal of Sports Medicine*, 44 (16), 1153-1159.
39. Docking SI & Cook J (2016). Pathological tendons maintain sufficient aligned fibrillar structure on ultrasound tissue characterization (UTC). *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 26 (6), 675-683.
40. Atkinson TS et al. (1999). The tensile and stress relaxation responses of human patellar tendon varies with specimen cross-sectional area. *Journal of Biomechanics*, 32 (9), 907-914.
41. Rio E et al. (2016). Tendon neuroplastic training: changing the way we think about tendon rehabilitation: a narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, 50 (4), 209-215.
42. Pearson SJ et al. (2018). Immediate and short-term effects of short- and long-duration isometric contractions in patellar tendinopathy. *Clinical Journal of Sports Medicine*, doi: 10.1097/JSM.0000000000000625.
43. Vos RJ de et al. (2012). Tendon structure's lack of relation to clinical outcome after eccentric exercises in chronic midportion Achilles tendinopathy. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21 (1), 34-43.
44. Shaw G et al. (2016). Vitamin C-enriched gelatin supplementation before intermittent activity augments collagen synthesis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 105 (1), 136-143.
45. Praet SFE et al. (2019). Oral supplementation of specific collagen peptides combined with calf-strengthening exercises enhances function and reduces pain in Achilles tendinopathy patients. *Nutrients*, doi: 10.3390/nu11010076.
46. Alcock RD et al. (2018). Bone broth unlikely to provide reliable concentrations of collagen precursors compared with supplemental sources of collagen used in collagen research. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, doi: 10.1123/ijsnem.2018-0139.