



EKSENTRINEN HARJOITTELU TENDINOPATIAN KUNTOUTUKSESSA

Hanna Johansson

Maria Rousi-Laine

Opinnäytetyö
Elokuu 2012
Fysioterapian koulutusohjelma
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Fysioterapian koulutusohjelma

JOHANSSON HANNA & ROUSI-LAINE MARIA:
Eksentrisen harjoittelu tendinopatian kuntoutuksessa

Opinnäytetyö 64 sivua
Elokuu 2012

Tendinopatia määritellään yleisimmin ylirasitus- ja degeneratiivisena tilana, joka aiheuttaa kroonisia jännekipuoireita. Sen ajatellaan aiheutuvan toistuvasta mekaanisesta ylikuormituksesta. Tendinopatia on yleinen ongelma paljon toistotyötä tekevillä ja liikuntaa harrastavilla, mutta sitä tavataan myös urheilua harrastamattomilla. Tulehdusta vähentävien menetelmien on huomattu olevan tehottomia tendinopatian hoidossa, minkä vuoksi kiinnostus terapeuttisia kuntoutusmuotoja kohtaan on kasvanut. Opinnäytetyössä käytiin läpi eksentrisen harjoittelun perusteita ja esiteltiin akilles- ja patellajänteen tendinopatioissa käytettyjä eksentrisen harjoittelun kuntoutusprotokollia.

Opinnäytetyö oli kirjallisuuskatsausten ja asiantuntijahaastatteluiden yhdistelmä. Työn tavoitteena oli koota tietoa tendinopatiasta ja sen eksentrisestä harjoittelusta fysioterapeuttien ja fysioterapeuttiopiskelijoiden käyttöön. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kuvata eksentrisen harjoittelun periaatteita tendinopatian kuntoutuksessa. Lähdemateriaalina opinnäytetyössä käytettiin pääasiassa tutkimusartikkeleita ja review-artikkeleita.

Tendinopatian kuntoutusprotokollat ovat muuttuneet viimeisen vuosikymmenen aikana. Eksentrisen harjoittelun vaikuttavuudesta tendinopatiaan on entistä enemmän metodologisesti laadukkaita tutkimustuloksia. Katsausten perusteella voitiin todeta, että eksentrisen harjoittelu vähensi koettua kipua tutkimushenkilöillä, joilla oli akilles- ja patellajänteiden tendinopatia. Harjoittelujakson pituus oli yleisimmin 12 viikkoa.

Eksentrisestä harjoittelusta tendinopatian kuntoutuksessa on jatkossa tarpeen tuottaa harjoitteluopas, jotta tendinopatian kuntoutusta toteutetaan lisääntyneen tiedon pohjalta oikein harjoittein ja toteutustavoin. Opas tarjoaa fysioterapeuteille konkreettisen työvälineen jännekipuoireilun kuntoutukseen.

Asiasanat: kipu, jänne, ylirasitus, kuormitus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Physiotherapy

JOHANSSON HANNA & ROUSI-LAINE MARIA:
Eccentric training in the rehabilitation of tendinopathy

Bachelor's thesis 64 pages
August 2012

Tendinopathy is often described as chronic tendon pain syndrome. The precise pathogenesis of tendinopathy is still mostly unknown. As anti-inflammatory methods are ineffective in the management of tendinopathy, interest towards conservative rehabilitation has increased. Eccentric training has become a common rehabilitation protocol in Achilles and patellar tendinopathy.

The thesis was a combination of review and expert interviews. Research articles and reviews used in the thesis were mainly published in the 21st century. The purpose of the thesis was to describe eccentric training in the rehabilitation of tendinopathy. The objective was to compile evidence about eccentric training in the rehabilitation of tendinopathy for physiotherapists and physiotherapy students.

Information material consisting of precise eccentric training programs and guidelines in tendinopathy rehabilitation is needed in the future. The guide book is a useful concrete working tool for physiotherapists and other professionals dealing with tendinopathy rehabilitation.

Key words: pain, tendon, overuse, mechanical loading

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Opinnäytetyön aihe ja sen valinta.....	5
1.2	Opinnäytetyön tavoite ja tarkoitus.....	5
1.3	Tiedonhankintamenetelmät ja toteutus.....	6
2	JÄNTEEN RAKENNE.....	8
2.1	Jänteen makrorakenne.....	8
2.1.1	Jännettä ympäröivät kalvorakenteet.....	9
2.1.2	Jänteen verenkierto.....	11
2.1.3	Jänteen hermotus.....	12
2.2	Jänteen mikrorakenne.....	13
3	JÄNTEEN TOIMINNALLISET OMINAISUUDET.....	17
4	JÄNTEEN KUORMITUSVASTE.....	22
4.1	Kuormituksen vaikutus jänteen metaboliaan.....	22
4.2	Kuormituksen vaikutus jänteen poikkipinta-alaan.....	23
4.3	Kuormituksen vaikutus jänteen mikrorakenteeseen.....	25
4.4	Kuormituksen vaikutus jänteen jäykkyysominaisuuksiin.....	27
4.5	Immobilisaation vaikutus janteeseen.....	28
5	TENDINOPATIA.....	30
5.1	Määritelmä.....	30
5.2	Altistavat tekijät.....	31
5.3	Patofysiologia ja oireet.....	33
6	EKSENTRINEN HARJOITTELU TENDINOPATIASSA.....	38
6.1	Eksentrisen harjoittelun perusteet ja vaikutusmekanismit.....	38
6.2	Kuntoutusprotokollat eksentrisessä harjoittelussa.....	40
6.3	Eksentrisen harjoittelun vaikuttavuus tendinopatian kuntoutuksessa.....	45
7	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	50
8	POHDINTA.....	54
	LÄHTEET.....	56

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön aihe ja sen valinta

Opinnäytetyöaiheemme on eksentrisen harjoittelu tendinopatian kuntoutuksessa. Opinnäytetyössämme käsitämme tendinopatialla jänteen ylläpidosta, vääränlaisesta kuormituksesta ja paikallisesta poikkeavasta metaboliasta johtuvia kiputiloja, joiden taustalla voi olla myös jänteen degeneratiiviset muutokset. Käsittelemme opinnäytetyössämme aluksi terveen jänteen rakennetta ja toimintaa, sitten itse tendinopatiaa ja lopuksi eksentrisen harjoittelun periaatteita ja vaikuttavuutta tendinopatiaan.

Saimme idean aiheeseen fysioterapeutilta, johon otimme yhteyttä miettiessämme tuki- ja liikuntaelinfysioterapiaan liittyvää opinnäytetyöaihetta. Koska tietomme jänneongelmista oli ennestään vähäistä, koimme aiheen meitä hyvin palvelevaksi. Aiheeseen liittyvää suomenkielistä selkeää tietoa on niukasti ja jänneongelmia on käsitelty koulutuksessamme vain pintapuolisesti. Tästä syystä opinnäytetyö palvelisi mielestämme myös muita fysioterapeuttiopiskelijoita ja fysioterapeutteja. Opinnäytetyöraporttiamme tullaan hyödyntämään fysioterapeuttikoulutuksen opetusmateriaalina.

1.2 Opinnäytetyön tavoite ja tarkoitus

Tavoitteenamme on koota tietoa tendinopatiasta ja sen kuntoutuksessa käytetystä eksentrisestä harjoittelusta fysioterapeuttiopiskelijoiden ja fysioterapeuttien käyttöön. Tarkoituksena on kuvata perusteet eksentrisen harjoittelun käytölle. Tavoitteeseen päästäksemme meidän tulee aluksi perehtyä terveen jänteen rakenteeseen, toimintaan ja kuormitusvasteeseen sekä tendinopatian patofysiologiaan. Haemme opinnäytetyössämme vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- Miten jänne rakentuu ja toimii?
- Mitä tendinopatia on?

- Mihin eksentrisen harjoittelu perustuu ja miten se toteutetaan tendinopatian kuntoutuksessa?
- Millaisia vaikutuksia eksentrisellä harjoittelulla on tendinopatiaan?

1.3 Tiedonhankintamenetelmät ja toteutus

Opinnäytetyötämme ei voida nimittää systemaattiseksi kirjallisuuskatsaukseksi, koska käytämme tiedonhankintamenetelmänä tutkimusartikkelien ja kirjallisuuden lisäksi haastatteluja. Haastatteluihin saattaa sisältyä mielipiteitä ja haastateltavat ovat aina valikoituja, mikä rikkoo työn objektiivisuutta. Lisäksi emme ole opinnäytetyössämme määrittäneet lähdemateriaalin rajauskriteereitä ja hakusanoja systemaattisen kirjallisuuskatsauksen edellyttämällä tavalla. Opinnäytetyöprosessimme vaiheet ja tavoitteet noudattavat kuitenkin pääosin systemaattisen kirjallisuuskatsauksen periaatteita.

Kirjallisuuskatsaus on koottua tietoa joltakin rajatulta alueelta. Tavallisesti katsaus tehdään vastauksena joihinkin kysymyksiin. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus on sekundaaritutkimus jo olemassa olevista tutkimuksista. Siihen tulisi sisällyttää ainoastaan tarkoitusta vastaavat korkealaatuiset tutkimukset. (Johansson, Axelin, Stolt & Ääri 2007, 2–6.) Systemaattisella kirjallisuuskatsauksella on kolme päätavoitetta. Ensimmäinen tavoite on minimoida aineiston yksipuolinen ja suppea valikoituminen keräämällä kattavasti alkuperäistutkimuksia. Toiseksi tulee selvittää alkuperäistutkimusten menetelmällinen laatu, jolloin jokainen yksittäinen tutkimus saa sille kuuluvan painoarvon. Kolmantena tavoitteena on päästä tulosten mahdollisimman selkeään ja tehokkaaseen hyödyntämiseen yhdistämällä eri tutkimustuloksia. (Metsämuuronen 2003, 16–18.)

Kirjallisuuskatsaus edellyttää opinnäytetyövaiheiden huolellista suunnittelua ja kuvausta, koska sen tulee olla toistettavissa kuvauksen mukaisesti. Kirjallisuuskatsauksen päävaiheet voidaan luokitella monin eri tavoin (Johansson ym. 2007, 2-6). Metsämuuronen (2003, 16–18) mukaan systemaattisen kirjallisuuskatsauksen päävaiheet ovat aiheen rajaaminen, katsaukseen käytettävien tutkimusten hyväksymis- ja poissulkukriteerit sekä kirjallisuushaku. Hyväksymis- ja poissulkukriteereillä määritetään tiedonhaun rajat; miltä aikaväliltä

alkuperäistutkimuksia kerätään sekä mistä, millä tavoin ja kuinka kauan tietoa haetaan. Varsinainen alkuperäistutkimusten valinta tapahtuu nimenomaan näiden ennalta määriteltyjen hyväksymiskriteerien perusteella. (Metsämuuronen 2003, 16–18.)

Johanssonin ym. (2007, 2–6) teoksen mukaan kirjallisuuskatsaus voidaan jakaa seuraavasti; ensimmäinen vaihe on katsauksen suunnittelu, toinen itse katsauksen teko sisältäen tiedonhaun, sen analysoinnin sekä synteessin ja kolmas vaihe on katsauksen raportointi. Oleellisin vaihe on suunnitteluvaihe, jossa perehdytään olemassa oleviin tutkimuksiin aiheesta, määritellään tutkimuksen tarve ja tehdään tutkimussuunnitelma. Tiedonhaun, analysoinnin ja synteessin jälkeen edetään katsauksen viimeiseen vaiheeseen, jossa raportoinnin lisäksi tehdään johtopäätökset ja mahdolliset suositukset. (Johansson ym. 2007, 2–6.) Kirjallisuushaussa on olennaista välttää sitä, että kirjallisuuskatsaukseen valitaan vain positiivisia tuloksia saaneita tutkimuksia (Metsämuuronen 2003, 16–18).

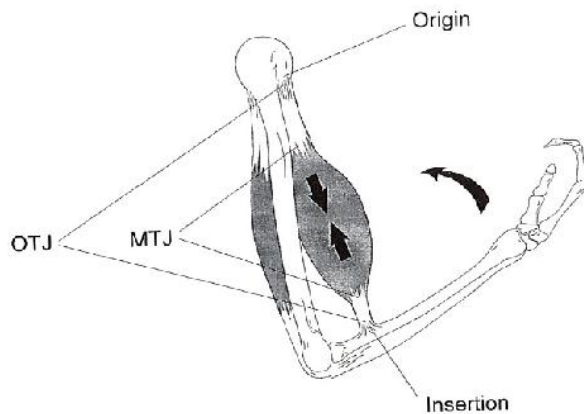
Hyödynsimme kirjallisuuden, tutkimusartikkeleiden ja review -artikkeleiden lisäksi asiantuntijahaastatteluja. Käytimme tiedonhankinnallista avointa haastattelua. Avoin haastattelu on olemukseltaan lähellä keskustelua, jossa kysymysten muotoilu on vapaa ja vastaajien määrä on pieni (Metsämuuronen 2003, 186; 189). Saimme haastattelun avulla mahdollisuuden tehdä tarkentavia kysymyksiä lukemiemme artikkelien/tutkimusten kirjoittajilta tai muilta alueen asiantuntijoilta, jolloin pystyimme tarkistamaan ymmärryksemme julkaisujen sisällöstä ja saamaan vastauksia epäselvyyksiin.

Opinnäytetyössä käytettiin yhteensä 112 lähdettä, joista 104 oli tutkimus- tai katsausartikkeliä. Suurin osa tutkimusartikkeleista oli in vivo-tutkimuksiin perustuvia primaarilähteitä. Käyttämämme tutkimusartikkelit ja review- artikkelit olivat pääasiassa 2000-luvun julkaisuja, mutta tarpeen mukaan käytimme myös vanhempaa lähdemateriaalia. Hyödynsimme tiedonhaussa Tampereen ammattikorkeakoulun tietokantojen lisäksi Tampereen yliopiston tietokantoja. Saimme ammattikorkeakoulumme kirjaston kaukopalvelun kautta lähdemateriaalia, joita koulun tietokannoista ei löytynyt. Eniten käyttämämme tietokannat olivat PubMed, BioMed Central ja CINAHL. Julkaisemme opinnäytetyömme Theseus -tietokannassa.

2 JÄNTEEN RAKENNE

2.1 Jänteen makrorakenne

Jänne sijaitsee lihaksen ja luun välissä (Khan ym. 1999). Yksinkertaisuudessaan kaikilla lihaksilla on kaksi jännettä, toinen sen proksimaalisessa päässä ja toinen distaalisessa päässä. Lihas-jänneyksikön proksimaalisessa päässä jänteen liitoskohtaa luuhun nimitetään origoksi (origin), kun taas sen distaalisessa päässä liitoskohtaa luuhun kutsutaan insertioksi (insertion). Näissä pisteissä sijaitsee luujänneliitokset (OTJ). Lihakseen jänne kiinnittyy lihasjänneliitoksella (MTJ) (KUVIO 1). (Kannus 2000b.)



KUVIO 1. Lihasjänneyksikkö. OTJ= Luujänneliitos, MTJ= Lihasjänneliitos (Józsa & Kannus 1997, 46)

Jänteet eroavat toisistaan esimerkiksi niiden muodossa ja poikkipinta-alassa, jotka määräytyvät usein niiden toiminnan mukaan (Kjaer 2004). Lihas, joka on suunniteltu tuottamaan suuria voimia, kuten nelipäinen reisilihas, omaa lyhyen ja leveän jännemuodon. Vastaavasti tarkkoihin ja vaativiin liikkeisiin erikoistuneiden lihasten jänneet ovat rakenteeltaan pitkiä ja ohuita. Tällaisia ovat muun muassa sormien fleksoreiden jänneet. Jänne voi olla muodoltaan myös sylinterityyppinen, viuhkamainen tai nauhamainen. (Kannus 2000b.) Akillesjänne on muodoltaan sukkulamainen ja patellajänne litteä (Fenwick, Hazleman & Riley 2002).

Jänteiden poikkipinta-alat vaihtelevat paljon eri jännteiden ja yksilöiden välillä (Magnusson & Kjaer 2003). Säännöllisesti juoksua harjoittelevilla miehillä on todettu

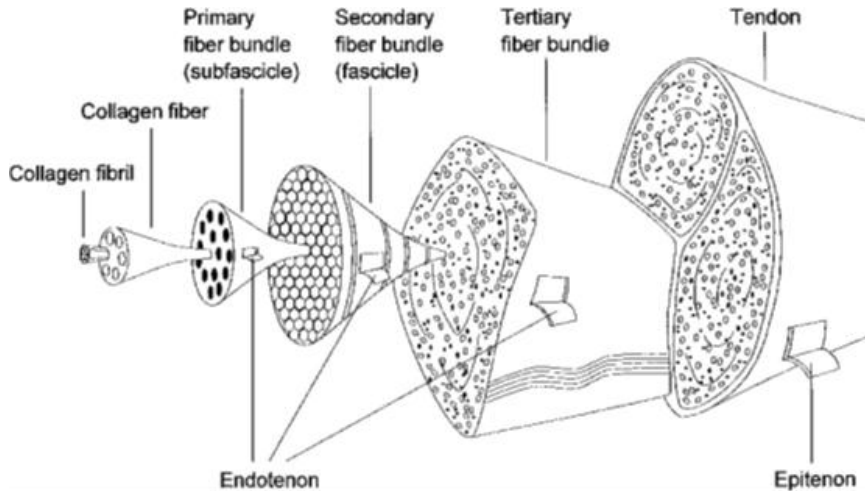
olevan 21 prosenttia poikkipinta-alaltaan paksummat jänteet verrattuna melontaa harrastaviin miehiin (Kongsgaard, Aagaard, Kjaer & Magnusson 2005). Jänteen poikkipinta-ala vaihtelee myös saman jänteen sisällä, mikä johtuu rakenteellisten ominaisuuksien vaihtelevuudesta sen eri osissa. Akillesjänteen poikkipinta-alan on todettu olevan merkittävästi suurempi jänteen distaaliosassa kuin proksimaaliosassa sekä juoksijoilla että ei-juoksijoilla. Tämä ero oli suurempi juoksijoilla, mikä liittyy jänteen jatkuvaan kuormittamiseen. (Magnusson & Kjaer 2003.) Carrollin ym. (2008) ja Couppeen ym. (2009) tutkimusten mukaan jänteen poikkipinta-ala ja pituus eivät eroa merkitsevästi verrattaessa terveitä ikääntyneitä ja terveitä nuoria miehiä huolimatta kollageenipitoisuuden laskusta ikääntymisen myötä. Tutkijat arvelevat poikkipinta-alan säilymisen ikääntyessä johtuvan jänteen sisäisen rasvan ja solun ulkoisen aineen määrän lisääntymisestä (Couppe ym. 2009).

2.1.1 Jännettä ympäröivät kalvorakenteet

Jänteen ympärillä olevien rakenteiden nimityksistä on paljon erilaisia versioita eikä konsensusta ole olemassa. Kyseessä on jänteen ympärillä olevat ohuet sidekudoskalvot, jotka eri kohdissa samaa jännettä ja eri jännteissä muodostavat erilaisia rakennekombinaatioita, riippuen kalvojen toimintatarkoituksesta ja anatomisesta rakenteesta. Terveessä jännteessä kaikki jänteen ympärillä olevat kalvot ovat tärkeitä sekä suojaamaan jännettä että pienentämään jänteen liikekitkaa, minkä vuoksi niitä kutsutaan myös liukukalvoiksi. Näistä samoista kalvorakenteista alkaa jänteen tavallisimmat ongelmat kuten ylirasitustilanteessa inflammaatioreaktio tyyppioireineen. (Kannus 18.06.2012.) Osa jänneiden kalvorakenteista on kuitenkin yleisesti tunnistettuja (KUVIO 2).

Endotenon on jänteen sisällä oleva sidekudoksinen ohut verkkomainen kalvo, jolla on ristikkotyypinen kollageenisäieverkosto. Endotenonin säikeet verhoavat jänteen syitä ja sitovat syyt yhteen säiekimpuiksi (KUVIO 2). Vaikka endotenonilla on tärkeä tehtävä kollageenisyiden yhteensitomisessa, niin kalvo sallii syykimppujen liukumisen toisiaan vasten. Endotenonissa kulkee lisäksi verisuonia, hermoja sekä imusuonia jänteen syviin osiin. Koko jännettä ympäröi epitenon- kalvo, joka on suhteellisen tiivis sidekudoskalvo. Epitenon jatkuu sisemmältä osaltaan endotenonina jänteen sisään

(KUVIO 2). Sen kollageenisäikeiden paksuus on 8-10 nanometriä. Epitenon sisältää sekä pitkittäisiä, viistoja että poikittaisia säikeitä. (Kannus 2000b.)



KUVIO 2. Jänteen rakenne (Kannus 2000b)

Epitenon jatkuu uloimmaiselta osaltaan jännettä suojaavana sidekudoksisena liukukalvona, joka voi olla jänteestä, sen toiminnasta ja sijainnista riippuen hieman erilainen (Kannus 18.06.2012). Luisilla pinnoilla tai luisissa uurteissa kulkiessaan jänteellä tulee olla pehmikettä liikekitkalta suojaamiseksi. Luisissa uurteissa kulkevat pitkät jänteet on usein pehmitetty syyrustokudoksella ja peitetty sidekudoskalvolla. Tällaisia paikkoja ovat käden sekä jalan ekstensoreiden ja fleksoreiden kulku-urat. Myös jänteet, jotka kulkevat mutkitellen ja suuntaa vaihtaen tarvitsevat vahvempaa suojaa kitkaa vastaan sekä sidekudosrakenteen pitämään jänteen kulkureitillään. Nimityksiä näille eri kalvorakenteille ovat muun muassa retinaculum, synoviaalikalvo, aponeuroosi ja ´reflection bulley´. (Kannus 2000b.) Akillesjänteen kalvorakenteiden on osoitettu ainakin osittain jatkuvan M. soleus lihasrakenteen sisään (Finni ym. 2003). Osalla jänteistä epitenonin päällä sijaitsee löyhä sidekudoskalvo paratenon, joka toimii jänteen elastisena suojana, sallien jänteen vapaan liikkumisen ympäriskudosta vasten. Hyvänä esimerkkinä tällaisesta on akillesjänne. Paratenonin pääkomponentteina toimivat tyypin 1 ja 3 kollageeni, elastiset säikeet sekä synoviaalisolut. (Kannus 2000b.)

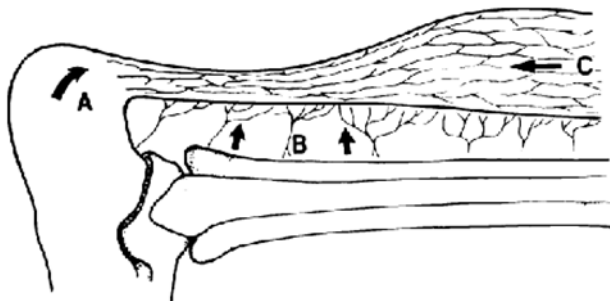
Joillain jänteillä on suojanaan jännetuppi eli peritenon. (Kannus 2000b.) Se muodostaa eräänlaisen kalvopussin jänteen ympärille (Kannus 18.6.2012). Tupellisia jänteitä esiintyy erityisesti niillä alueilla, missä jänteen mahdollisuus hankaukseen on suuri. Myös jänteen ympärillä olevilla limapusseilla on tärkeä rooli kitkan vähentämisessä. Ne ovat sijoittuneena paikkoihin, joissa luun ulkoneva kohta painaisi muutoin

jännekudosta. Tyypillinen esimerkki tästä on muun muassa subacromiaalinen bursa ja syvä trochanterin bursa. (Kannus 2000b.)

2.1.2 Jänteen verenkierto

Kehittyessään jänne on hyvin verisuonitettu ja metaboliaaltaan aktiivinen. Kypsyessään jänteen verisuonitus heikkenee, jolloin sen ravinnonsaanti on riippuvaisempi synoviaalinnesteen diffuusiosta kuin verenkierrosta. (Fenwick ym. 2002.) Jänteiden imunestekierto on vähäistä ja nesteiden poistuminen jänteestä tapahtuu pääosin laskimoverenkierron kautta (Kauranen & Nurkka 2010, 115). Verisuonien määrä ei ole niin vähäinen kuin aiemmin on ajateltu. Muiden tukikudosten tapaan, jänteessä ei normaalioloissa tapahdu uudisverisuonitusta eli uusien verisuonien patologista kasvamista jännerakenteen sisään. (Fenwick ym. 2002.)

Verisuonet ovat yleisesti ottaen järjestäytyneet jänteessä pitkittäissuuntaisesti. Verisuonet ja imusuonet kulkevat säiekimppua ympäröivässä endotenonissa. (Fenwick ym. 2002; Kauranen & Nurkka 2010, 114.) Pitkissä jänteissä voi olla useita pitkittäissuuntaisia verisuonia (Kjaer 2004). Jänteen verenkierron on osoitettu tapahtuvan kolmea eri kautta: luujänneliitoksesta, ympäröivien sidekudosrakenteiden verisuonista ja lihasjänneliitoksesta (KUVIO 3). Luujänne-liitoksen kautta toimiva verenkierto ei kulje suoraan luusta jänteeseen näiden välisen rustokudoskerroksen läpi. Luujänne-liitoksen verisuonet ovat yhteydessä luukalvon verisuoniin niiden välisten yhdyshaarojen kautta. (Fenwick ym. 2002.)



KUVIO 3. Akillesjänteen verisuonitus. Verenkierto jänteeseen luujänneliitoksesta (A), ympäröivien sidekudosrakenteiden verisuonista (B) ja lihasjänneliitoksesta (C) (Carr & Norris 1989)

Jännettä verisuonittavien valtimoiden määrä vaihtelee eri jänteissä. Esimerkiksi akillesjänteen verenkierrosta huolehtivat peroneaali ja posteoriorisen tibiaali arterian haarat. Rotator cuff -jänteiden verenkierrosta huolehtivat kuusi valtimoa ja sormien fleksoreiden jänteiden verenkierrosta neljä valtimonhaaraa. Verenkierrolliset erot voivat johtua muun muassa jänteen muodosta tai siitä ympäröikö jännettä jännetuppi. Jännetupellisissa jänteissä verisuonet pääsevät jänteeseen vain tietyistä paratenonin kohdista kun taas jännetupen puuttuessa verisuonet pääsevät kulkemaan jänteeseen mistä tahansa kalvon kohdasta. (Fenwick ym. 2002.)

Monilla jänteillä on huomattu olevan alueita, joissa verenkierto on muuhun jännekudokseen verrattuna huonompaa. Tällaisia jänteitä ovat muun muassa patellajänne ja akillesjänne. Patellajänteessä heikosti verisuonitettu, niin sanottu avaskulaarinen alue, on polvilumpion ylänavasta 1-2 senttimetriä ylöspäin (Yepes, Tang, Morris & Stanish 2008). Akillesjänteessä vastaava alue on 3-6 senttimetriä proksimaalisesti luu-jänneliitoksesta. Alueittaisen vähentyneen verenkierron syy voi olla ulkoinen tekijä kuten altistuminen kompressiolle, eikä niinkään verisuonituksen puuttuminen. (Stein, Laprell, Tinnemeyer & Petersen 2000.)

2.1.3 Jänteen hermotus

Jänteen hermot kulkevat säiekimppua ympäröivässä endotenonissa (Kannus 2000b). Hermohaarat kulkevat paratenonin tai muun jännettä ympäröivän sidekudosrakenteen sekä epitenonin läpi päästäkseen jänteen pinnalle ja sisäosiin (O'Brien 2005). Jänteen hermot päättyvät pääosin jänteen tai paratenonin pinnalle, mutta ne voivat myös seurata verisuonikanavia jänteen sisäosiin (Cheng & Chan 2008). Jänteen hermotus on pääosin afferenttia eli kudoksesta hermostoon päin kulkevaa. Jänteiden sensorisen hermotuksen muodostaa jänteen ympärillä sijaitsevat pinnalliset hermot ja lähellä olevat syvät hermot, esimerkiksi akillesjänteessä syvän tibiaalihieron haarat. (O'Brien 2005.)

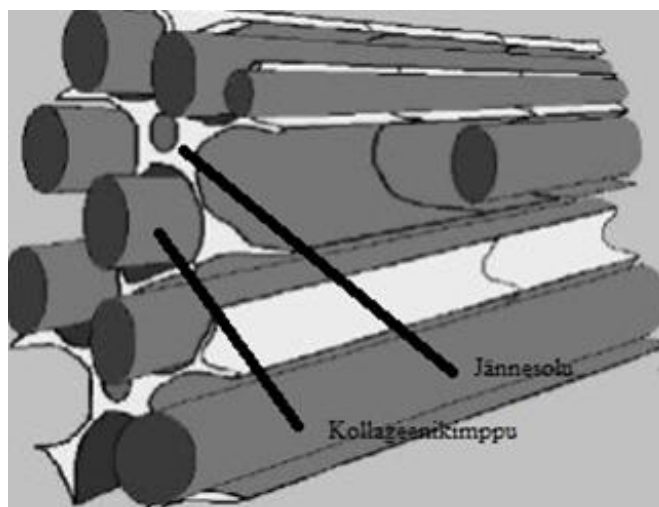
Sensoriset hermoreseptorit ovat lähellä lihas-jänneliitosta, joko jänteen pinnalla tai jänteen sisällä. Hermoreseptoreja on jänteessä neljää eri tyyppiä. Tyypin 1 reseptorit (Ruffini keräset) ovat painereseptoreja, jotka ovat herkkiä venytykselle mutta mukautuvat hitaasti. Tyypin 2 reseptorit (Vater-Pacinin keränen) ovat paine- ja värinäaistin aistinelimiä, jotka aktivoituvat kaikesta ympäröivässä kudoksessa

tapahtuvasta liikkeestä, esimerkiksi lihassupistuksesta. Hermon aistima paineen määrä riippuu lihassupistuksen voimakkuudesta. Tyypin 3 reseptorit (Golgin jänne-elin) ovat mekanoreseptoreita, jotka reagoivat lihassupistukseen ja suojelevat jännettä hillitsemällä liian voimakasta lihassupistusta (Leppäluoto ym. 2007, 427). Tyypin 4 reseptorit ovat vapaita hermopäätteitä, jotka toimivat kipureseptoreina. (O'Brien 2005.)

Jänteen makrorakenne ja muoto ovat pitkälti riippuvaisia siihen liittyneen lihaksen voimantuotto-ominaisuuksista. Jänteen makrorakenteen eri osatekijät vaihtelevat sekä eri jänneiden välillä että yksittäisten jänneiden sisällä. Jänteen ympärillä olevan erilaiset sidekudoskalvot suojaavat jännettä ja pienentävät jänteen liikekitkaa, minkä vuoksi niiden toimintarooli on jänteelle tärkeä.

2.2 Jänteen mikrorakenne

Jännesolut eli tenosyytit muodostavat noin 90–95 prosenttia jänteen soluelementeistä. Jännesolut vastaavat muun muassa proteiinien, kuten kollageenin, tuotannosta. (Kannus 2000b.) Jännesolut ovat järjestäytyneet pitkittäisiksi riveiksi kollageenikimppujen väliin (KUVIO 4) (Ralphs 2002). Loput 5–10 prosenttia jänteen soluelementeistä koostuu paineen alaisten kohtien ja insertiokohtien kondrosyyteistä, jännekalvon synoviaalisoluista ja verisoluista. Patologisissa tiloissa esiintyy myös monia muita soluja, kuten tulehdussoluja, makrofageja ja myofibroblasteja. (Kannus 2000b.)



KUVIO 4. Jännesolut järjestäytyneenä kollageenikimppujen väliin (Ralphs 2002, muokattu)

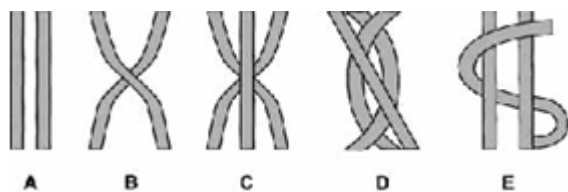
Jännesoluja on erimuotoisia ja -kokoisia. Jotkut ovat pitkulaisia, toiset pyöreämallisia ja jotkut monikulmaisia. Varhaiset jännesolut, tenoblastit, alkavat kehittyessään muistuttaa toisiaan tullen sukkulanmuotoisiksi. Tenoblastit kehittyvät tenosyyteiksi, jotka ovat muodoltaan pitkittäismallisia. Tenosyytin pituus on 80-300 mikrometriä. (Kannus 2000b.) Jännesolut ovat yhteydessä toisiinsa soluväliaineen välityksellä ja kommunikoivat aukkoliitosten avulla (Eliasson 2011).

Jännesolujen lisäksi jänne koostuu solun ulkoisesta aineksesta, ekstrasellulaarimatriksista, mikä antaa jännteelle rakenteellista tukea ja osallistuu voimansiirtoon (Kjaer 2004). Soluväliaineen määrä ja sen ainesosien keskinäiset suhteet ovat tärkeitä jännekudoksen mekaanisille ominaisuuksille (Eliasson 2011). Vastakehittyneessä jännteessä on suhteessa enemmän soluja kuin solunulkoista ainetta, mutta jänteen kehittyessä tämä suhde tasaantuu (Kannus 2000b). Solun ulkoinen aines koostuu vesipitoisen ympäröivän aineen lisäksi pääosin kollageenista, elastisista säikeistä, proteoglykaaneista, glykosaminoglykaaneista, eri proteiineista ja epäorgaanisista ainesosista (Kannus 2000b; Yoon & Halper 2005). Solun ulkoisen aineen proteoglykaanit koostuvat proteiiniytimestä ja siihen kovalenttisesti sitoutuneesta yhdestä tai useammasta glykosaminoglykaanista (GAG). Solusignaalien toimintaan osallistuvat glykosaminoglykaanit koostuvat toistuvista disakkaridiketjuista. (Yoon & Halper 2005.)

Jänteen kuivapainosta 60-85 prosenttia on kollageenia, josta noin 60 prosenttia on tyyppiä 1 (Kjaer 2004). Kollageenityyppi ja -pitoisuus vaihtelevat eri jänneiden välillä sekä yksittäisen jänteen sisällä (Kannus 2000b). Kollageenisäikeiden läpimitta vaihtelee 20 nanometristä 150 nanometriin. Ihmisen akillesjännteessä kollageenisäikeiden läpimitta on 30 nanometrin ja 130 nanometrin välillä. (Kannus 2000b.) Kollageeni antaa jännteelle sen vetolujuuden (Khan ym. 1999). Jänteen kollageenipitoisuuden on todettu olevan pienempi iäkkäillä kuin nuorilla ihmisillä. Carrollin ym. (2008) ja Couppen ym. (2009) tutkimuksissa jänteen mekaanisten ominaisuuksien ei tästä huolimatta todettu muuttuvan, minkä he arvelevat johtuvan iän myötä tapahtuvasta kollageeniristikäissäidosten lukumäärän kasvusta. Stenroth ym. (2012) tutkimuksessa todettiin mekaanisten ominaisuuksien olevan samat sekä ikääntyvillä että nuorilla, jos lihaksen voimantuotto on sama. Voimaominaisuuksien heikentyminen johtaa tutkimuksen mukaan jänteen mekaanisten ominaisuuksien heikkenemiseen, joka kuitenkin voi kompensoitua ikääntyessä poikkipinta-alan kasvulla (Stenroth ym. 2012).

Kollageenia muodostavat sidekudossolut joko jännesolun karkean solulimakalvoston ribosomeilla tai ekstrasellulaarimesteen ribosomeilla (Kjaer 2004). Kollageeni koostuu liukenevista tropokollageeni-molekyyleistä, jotka muodostavat keskenään ristikkäissidoksia aikaansaadakseen liukenemattomia kollageenimolekyylejä. Nämä yhdistyvät progressiivisesti kollageenifibrilleiksi. (Buehler & Wong 2007; Kannus 2000b.) Jänteen jakautuminen fibrilleihin antaa sille rakenteellista kestävyyttä ja takaa sen, että pieni vaurio jänteessä ei välttämättä leviä koko sen pinta-alalle (Kjaer 2004). Kimppu fibrillejä muodostaa yhdensuuntaisen, koko jänteen pituisen kollageenisäikeen, mikä on jänteen peruselementti (Gröger ym. 2010, 246). Kollageenisäie on pienin valomikroskoopilla nähtävä jännerakenne (Kannus 2000b).

Nykyisillä tutkimusmenetelmillä on voitu hyvin todentaa kollageenisäikeiden kulku jänteessä. Ne eivät kulje vain pitkittäissuuntaisesti vaan myös vaakatasossa ja poikittain niin, että pitkittäiset säikeet kiertyvät toisiaan muodostaen spiraaleita ja palmikoita (KUVIO 5). Tämä monimutkainen rakenne tarjoaa hyvän puskurin pitkittäisiä, poikittaisia ja vaakatasossa sekä rotaatiosuunnassa tulevia voimia vastaan liikkeen ja aktiivisuuden aikana. Kollageenisäikeiden monimuotoinen järjestäytyminen suhteessa toisiinsa kasvattaa jänteen vetolujuutta ja näin todennäköisesti vaikuttaa voiman optimaaliseen siirtymiseen lihaksesta jänteeseen. (Kannus 2000b.)



KUVIO 5. Kollageenisäikeiden keskinäinen järjestäytyminen (Kannus 2000b)

Kimppu kollageenisäikeitä muodostaa primaarisen säiekimppun, ja edelleen sekundaarisen ja tertiäärisen säiekimppun. Primaaristen ja sekundaaristen säiekimppujen lukumäärä vaihtelee eri jänteissä. Sekundaaristen säiekimppujen läpimitta on noin 150–1000 mikrometriä. Tertiäärisen säiekimppun läpimitta vaihtelee ihmisillä 1000 mikrometristä 3000 mikrometriin. Tertiäärisistä säiekimpuista muodostuu lopulta jänne. (Kannus 2000b.)

Jänteen kuivapainosta noin 2 prosenttia on elastiinia (Kjaer 2004; Maffulli, Renström, & Leadbetter 2005). Elastiini- ja kollageenisäikeiden määrä ja keskinäiset suhteet vaihtelevat eri jänteissä (Gröger ym. 2010, 40). Elastiset säikeet ovat noin 0.3-2.0 mikrometriä pitkiä ja niiden tarkkaa toiminnallista roolia ei tunneta. Elastiinisäikeiden on ehdotettu osallistuvan kollageenisäikeiden aaltomaisen rakenteen palautumiseen lihassupistuksen ja jännevenytyksen jälkeen. (Kannus 2000b.) Jänteen vesipitoisuus on 55-70 prosenttia, josta osa on sitoutuneena proteoglykaaneihin (Kjaer 2004).

Proteoglykaanit sijaitsevat useimmiten kollageenifibrillien ja -syiden välissä sekä niiden sisässä (Kannus 2000b), suojaten jännettä puristusvoimilta (Yoon & Halper 2005). Koska proteoglykaanien ja glykosaminoglykaanien vedensitomiskyky on suuri, ne vastustavat jänneeseen kohdistuvia leikkaavia ja puristavia voimia (Kannus 2000b). Hydrofiilisyytensä vuoksi proteoglykaanit ovat tärkeitä jänteen sisäisen vesipitoisuuden säilyttämisessä ja jänteen voitelussa yhdessä veden kanssa. Proteoglykaanin määrä ja sen eri muotojen suhde-erot muuttuvat muun muassa iän, kehityksen ja kuormituksen mukaan. Yleisin jänteen proteoglykaani on Decorin, joka säätelee tyypin 1 kollageenin muodostusta. Fibrillogeneesiin osallistuu myös Lumican-proteoglykaani. Eri proteoglykaanit säätelevät solun kasvua, osallistuvat erilaistumiseen, toimivat vastustustekijöinä, vaikuttavat jänteen viskoelastisuuteen ja muotoon sekä antavat jänneelle joustavuutta, kimmoisuutta ja vahvuutta. (Yoon & Halper 2005.)

Jänteen mikrorakenteen eri tekijät takaavat jänneelle sen tarvitseman vetolujuuden, antavat jänneelle rakenteellista tukea ja osallistuvat voimansiirtoon lihasjänneyksikössä. Jänteen jakautuminen fibrilleihin takaa sen, ettei pieni vaurio jänneessä välttämättä leviä jänteen koko pinta-alalle. Jännesolujen välisten aukkoliitosten ansiosta soluissa tapahtuvat muutokset välittyvät solusignaaleina muille jännesoluille. Soluviestinnän ansiosta solut reagoivat yhteistyössä jännerakenteeseen kohdistuvaan kuormitukseen, mahdollistaen jänteen tarkoituksenmukaisen toiminnan.

3 JÄNTEEN TOIMINNALLISET OMINAISUUDET

Jänne siirtää lihaksessa tuotetun voiman luuhun mahdollistaen nivelen liikkeen (Khan ym. 1999). Lihakset jättävät jänneiden tehtäväksi elastisen energian säilömisen ja vapauttamisen fyysisen suoriutumisen parantumiseksi (Kawakami ym. 2002). Kuormitus on jänteelle tärkeää, koska mekaaninen stimulaatio on edellytys solun selviytymiselle, kasvulle ja kudosomeinaisuuksille. Jänne on dynaaminen kudos, joka sopeutuu kuormitukseen ja kuormittamattomuuteen. (Eliasson 2011; Heinemeier & Kjaer 2011.) Tuoreessa tutkimuksessa on todettu, että kahden viikon immobilisaatiojakso ei kuitenkaan vielä vaikuta jänteen normaaliin kuormitusvasteeseen tai vaikuta sen poikkipinta-alaan (Moerch ym. 2012).

Jänteen toimintaa tutkittaessa on huomattu, että sen eri kohdat ja alueet käyttäytyvät eri tavoin. Luuhun kiinnittyvä jänteen pää on rooliltaan, rakenteeltaan ja patologialtaan erilainen kuin jänteen keskiosa. Jänteen keskiosa toimii energiavarastona ja voiman siirtämisessä lihaksesta luuhun. Jänteen pää toimii ankkurina kiinnittäen lihaksen luuhun. (Rees, Wolman & Wilson 2009.)

Solun ulkoisen aineen kollageenisäikeet, proteoglykaanit ja glykosaminoglykaanit sekä niiden suhteet ovat tärkeässä roolissa voiman siirtämisessä ja jännekudoksen rakenteen ylläpidossa (Kjaer ym. 2006). Lihas-jänne-kompleksissa tapahtuva voimansiirto on riippuvainen lihassäikeiden ja jänteen ekstrasellulaarimesteen säikeiden välisestä järjestäytymisestä sekä jänteen kyvystä vastaanottaa ja sitoa energiaa (Kjaer 2004). Kagan & Li (2003) mukaan kollageenipoikittaissiltojen määrällä on todennäköisesti merkittävä vaikutus jänteen mekaniikalle. Poikittaissidokset liittävät yksittäiset kollageenimolekyyli-rakenteet toisiinsa ja ovat tärkeitä estämään liukumista molekyylien välillä, kun kudos on mekaanisesti kuormitettu (Heinemeier ym. 2007). Jänteen eri osien välisistä eroista kyvyssä siirtää voimaa lihaksesta luuhun ei ole saatu yksiselitteisiä tuloksia (Kjaer 2004).

Venymis-lyhentymis- sykli (SSC) on normaali lihastoimintamalli muun muassa juoksussa, hyppäämisessä ja heittämisessä. Se määritellään lihastyöjatkumona, jossa eksentristä lihastyötä seuraa välittömästi konsentrisen lihastyö. Tiedetään hyvin, että kun aktivoitunut lihas venyy ennen lyhentymistään, suoritus paranee konsentrisessa

vaiheessa. Jännerakenteisiin varastoituneen energian ja sen vapautumisen lihastyön aikana on ehdotettu olevan taustatekijänä tälle liikesuorituksen paranemiselle. (Kubo ym. 1999; Lichtwark & Wilson 2005). Kawakami ym. (2002) vertasivat pohjelihaksen ja akillesjänteen muodostaman lihasjänneyksikön toimintaa pelkän plantaarifleksion ja plantaari-dorsaalifleksion aikana. Tutkimuksen mukaan jänteen siirtämä voima plantaarifleksion alussa oli suurempi liikkeessä, jossa plantaarifleksiota edelsi dorsaalifleksioliike verrattuna pelkkään plantaarifleksioon. Kubon ym. (2000) in vivo -tutkimuksessa todettiin harjoittelutajuudella olevan merkitystä jänteen venymislyhenemis-sykliin. Nilkan liikkeen muutosvaiheessa dorsaalifleksiosta plantaarifleksioon akillesjänne oli pidempi hitaassa harjoitteessa verrattuna nopeaan (Kubo ym. 2000).

Jänne kykenee tutkimusten mukaan ottamaan talteen yli 90 prosenttia siihen kohdistuneesta venytys-/kuormitusenergiasta, joten se kuluttaa aktiivisuutensa aikana hyvin vähän energiaa (Forslund 2003). Ishikawan ym. (2005) tutkivat jänteen ominaisuuksia kävelyn aikana M. gastronemiuksen ja M. soleuksen jännekudoksessa. He totesivat, että jännekudos piteni hiljalleen tukivaiheen aikana, mutta supistui nopeasti tukivaiheen loppuvaiheessa. Tämän mukaan kävelyssä jänteen varastoiman energian hyödyntäminen toimii jousen tavoin. (Ishikawa ym. 2005.)

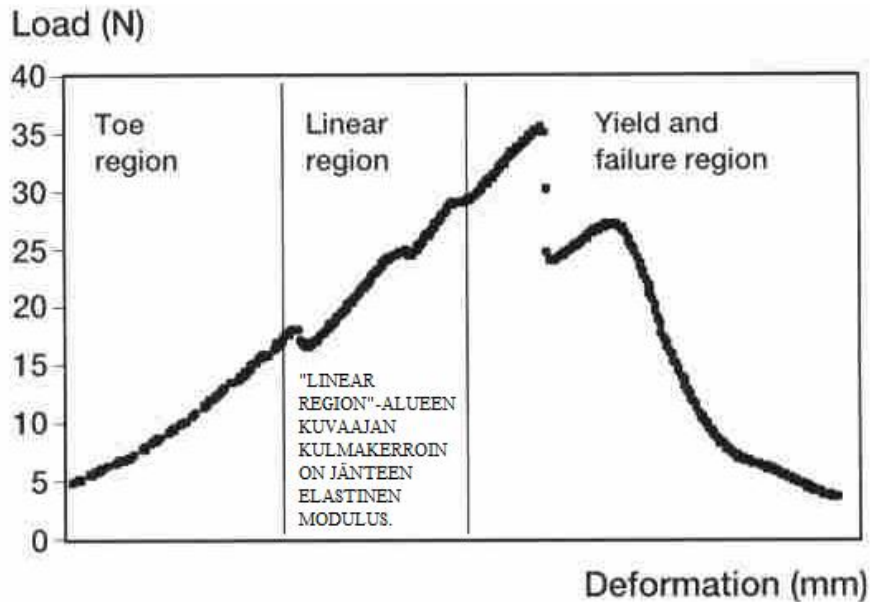
Jänneet eroavat venymiseltään merkittävästi riippuen niiden anatomisesta sijainnista, rakenteesta, lihaksen aktivaation tasosta ja siitä, mitä osaa jänneestä tarkastellaan (Butler, Grood, Noyes & Zernicke 1978; Finni ym. 2003; Kjaer 2004). Jänne ja kalvorakenne ovat sitä jäykempiä mitä aktiivisemmassa tilassa ne ovat. (Finni ym. 2003). Jänteen pituus muuttuu keskimäärin noin kaksi prosenttia maksimaalisessa lihassupistuksessa ja se kestää noin 3–5 prosentin venymisen ennen repeämistä. Nuoren aikuisen terve jänne kestää venytystä noin 50–100 N/mm². (Kauranen & Nurkka 2010, 114.)

Akillesjänteen jännekudoksen venyvyyden on todettu olevan lihassupistuksen aikana moninkertainen sen kalvorakenteen venyvyyteen verrattuna. Tämä viittaa niiden erilaiseen toiminnalliseen rooliin voimansiirrossa. On ehdotettu, että itse jänne toimisi energiavarastona ja sallisi energian vapautuksen, kun taas kalvorakenne takaisi tehokkaan voimansiirron. (Finni ym. 2003; Kjaer 2004) Ajatusta tukee Lieberin, Leonardin & Brown-Maupinin (2000) tutkimus, jossa havaittiin kalvorakenteen

lyhenevän lihaksen voimantuoton aikana, vaikka sitä pidetään ei-supistuvana kudoksena. Toisaalta myös vastakkaisia tutkimustuloksia on raportoitu (Maganaris & Paul 2000).

Finni ym. (2003) tutkimuksessa kalvojänteen distaalisen osan on todettu venyvän vähemmän kuin itse jänteen sekä kalvojänteen proksimaalisen osan submaksimaalisen lihassupistuksen aikana. Tutkijat arvelevat tämän johtuvan voimanjakautumisesta eri tavoin eri osiin kalvojänteessä. Yleisesti ottaen ei tiedetä, jakaantuuko venytys kuormituksen aikana tasaisesti koko jänteen poikki-pinta-alalle. Yksilölliset erot jänteiden anatomiassa, lihassäikeiden toisistaan eroava aktivoitumistaso lihassupistuksen aikana ja lukuisat eri voimansiirtoreitit aiheuttavat sen, että biomekaaninen vuorovaikutus supistuvien ja ei-supistuvien kudusrakenteiden välillä ei ole helposti osoitettavissa yksinkertaisilla jänne-lihas-malleilla. (Finni ym. 2003.)

Venytyksen alkaessa jänne venyy yleensä lyhyen aikaa helposti, ilman että siihen tarvitsee vaikuttaa mittava voima. Alla olevassa kuviossa aluetta kuvataan nimellä ”toe region” (KUVIO 6). Helpon venyvyyden ajatellaan johtuvan poimuttuneiden fibrillien oikenemisesta ja kollageenisäikeiden suuntautumisesta kuormitussuuntaan. Iän mukana fibrillipoimujen määrä vähenee, joten jänteen ”helppo venyvyys” kestää entistä lyhyemmän aikaa. ”Helpon venyvyys”-vaiheen jälkeen jänteeseen tulee kohdistua entistä mittavampi voima venytyksen aikaansaamiseksi, ja jänteen venyvyys suhteessa siihen kohdistuvaan kuormitukseen muuttuu lineaariseksi. Tätä aluetta kutsutaan nimellä ”linear region” (KUVIO 6). Tämän alueen tangentti eli kulmakerroin on jänteen elastinen modulus, eli sen kuormitus-venytys-arvo. ”Yield and failure regionilla” tarkoitetaan aluetta, jossa jänteen venyvyyskestävyys loppuu kuormituksen ylittäessä jänteen sietokyvyn (KUVIO 6). (Forslund 2003.)



KUVIO 6. Riippuvuussuhde jänteen venymisen ja siihen vaikuttavan kuorman välillä (Forslund 2003, muokattu)

Jänteen kyky vastustaa siihen kohdistuvia ulkoisia voimia perustuu sen sisäisen rakenteen molekyylien välisiin sidoksiin. Näiden rakenteiden yhteinen sidosvahvuus, joka määräytyy yksittäisten sidosten vahvuuksien mukaan, on jakautunut koko kudoksen pinta-alalle. Jänteeseen kohdistuvaa voimaa per pinta-alayksikkö kutsutaan kuormitukseksi (stress), ja sitä kuvataan yleensä Si-järjestelmän mukaisesti pascalleina (Pa) tai megapascalleina (MPa). Keskimääräinen jänteeseen kohdistuva kuormitus σ voidaan määrittää yhtälön (1) mukaisesti, missä F on jännekudokseen kohdistuva kokonaisvoima ja A on pinta-ala, johon kuormitus kohdistuu. (Butler ym. 1978.)

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

Kohtisuoraan poikkipinta-alaa vasten kohdistuvaa venytysvoimaa kutsutaan vetojännitykseksi. Kohtisuoraan poikkipinta-alaa vasten kohdistuvaa puristavaa voimaa kutsutaan puristusvoimaksi. Poikkipinta-alan kanssa samansuuntaisesti kohdistuvaa voimaa kutsutaan leikkaavaksi voimaksi. Jänne ei pysty vastustamaan leikkaavia ja puristuvia voimia yhtä hyvin kuin vetojännitystä, koska useimmat jänteet koostuvat pääosin samansuuntaisista säierakenteista. Jänteen elastisen materiaalin jäykkyyttä ja toisaalta venyvyyttä suhteessa siihen kohdistuvaan kuormitukseen kuvataan sen elastisuusmoduulina tai vetokertoimena (Young`s modulus). (Butler ym. 1978.)

Jännekudoksen muoto mukautuu siihen kohdistuvan ulkoisen voiman mukaan. Vetojännitys aiheuttaa jänteen päiden erkanemisen toisistaan, eli toisin sanoen jänteen

piteneksen. Puristusvoima aiheuttaa lyhenemisen jänteen päiden välillä ja leikkaavat voimat aiheuttavat jännekudoksen muodonmuutoksen. Venytysvoimasta aiheutuvaa jänteen piteneksistä suhteessa sen alkumittaan kuvataan venymänä ε , joka voidaan määrittää yhtälön (2) mukaisesti. Yhtälössä Δl on pituuden muutos ja l_0 on pituus ennen kuormitusta.

$$\varepsilon = \Delta l / l_0 \quad (2)$$

Jos tiedetään venymä ε ja Youngin moduulus E , niin jänteeseen kohdistuva kuormitus (stress) σ voidaan määrittää yhtälön (3) mukaisesti.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (3)$$

Edellä mainittujen kaavojen käytössä tulee huomioida, että ne kuvaavat vain yksittäiseen rakenteeseen kohdistuvaa kuormaa ja sen aiheuttamaa venytystä. Jos rakenne koostuu eri osista, on sen venymä ja kuormitus riippuvainen näiden eri osien sijoittumisesta toisiinsa nähden sekä eri osien materiaalisten ominaisuuksien yhteisvaikutuksesta. (Butler ym. 1978.)

Jänne mukautuu siihen kohdistuvaan kuormitukseen venymis-lyhenemis-syklin mukaisesti. Tällöin jänteessä mahdollistuu elastisen energian säilöminen ja vapauttaminen. Jänteet eroavat venymiseltään merkittävästi riippuen niiden anatomisesta sijainnista, rakenteesta, aktivaation tasosta ja siitä, mitä osaa jänteestä tarkastellaan. Tämän vuoksi niiden toiminnallisen rooli on osoitettu olevan voimansiirrossa erilainen. Lihas-jänneyksikön voimansiirto riippuu lihassäikeiden ja jänteen ekstrasellulaarimesteen keskinäisestä järjestäytymisestä sekä jänteen kyvystä vastaanottaa ja sitoa energiaa. Jänteen kyky vastustaa siihen kohdistuvia puristavia, venyttäviä ja leikkaavia voimia perustuu sen sisäisen rakenteen molekyylien välisten sidosten vahvuuteen.

4 JÄNTEEN KUORMITUSVASTE

Tutkimukset osoittavat, että jänne voi muuttaa sen mekaanisia ominaisuuksia ja poikkipinta-alaa muuttuvien kuormitusolosuhteiden johdosta. Jänteen vaste mekaaniselle kuormitukselle vaihtelee jänteen anatomisen sijainnin mukaan. (Eliasson 2011.) Jänteen kuormitus riippuu nivelkulmasta nivelessä, jonka lihas-jänne-yksikkö ylittää. Esimerkiksi patellajänteen maksimaalinen kuormitus saadaan aikaan tutkimusten mukaan polvinivelen ollessa 60 asteen fleksiossa (Purdam, Cook, Hopper & Khan 2003; Visnes, Hoksrud, Cook & Bahr 2005). Tämä riippuvuus on tärkeää huomioida hyvien harjoitteluvaikutusten saamiseksi jänteessä.

4.1 Kuormituksen vaikutus jänteen metaboliaan

Metabolinen aktiivisuus, verenkierrallinen vaste ja kollageenin mukautuminen kasvavat kaikki merkittävästi harjoittelun seurauksena (Kjaer ym. 2006.) Jänteen glukoosin ja hapen käytön on todettu kasvavan sekä patella- että akillesjänteessä mekaanisen kuormituksen seurauksena (Bojsen-Möller ym. 2006; Kjaer 2004; Kjaer ym. 2006). Kjaerin (2004) esittelemässä tutkimuksessa jänteen sisäisen ja sitä ympäröivän verenkierron osoitettiin kasvavan jopa seitsenkertaiseksi fyysisen kuormituksen aikana niin keski-ikäisillä, nuorilla kuin ikääntyneillä. Jänteen yhteydessä olevassa lihaksessa vastaava verenkierron kasvu on 20-kertainen (Kjaer 2004). Tutkimustulosten perusteella iskemia tai vähentynyt verenkierto eivät vaivaa jännettä harjoittelun aikana (Kjaer 2004; Kjaer ym. 2006).

Tutkimusten mukaan useat vasodilaattorit ovat määrällisesti runsaammin edustettuina jänteessä harjoittelun aikana. Vasodilaattorit ovat verisuonia laajentavia hermoja/aineita, jotka säätelevät jänteen verenkiertoa harjoittelun aikana. (Kjaer ym. 2006.) Harjoittelun intensiteetti ei vaikuta verisuonia laajentavien tekijöiden määrään jänteessä niin merkittävästi kuin lihaksessa. Jänteen verenkierto ei ole yksiselitteisesti riippuvainen lihaksen verenkierrosta kuormituksen aikana, vaan niillä on keskenään erilliset säätelyjärjestelmät. (Kjaer 2004.)

4.2 Kuormituksen vaikutus jänteen poikkipinta-alaan

Fyysisellä harjoittelulla voidaan kasvattaa jänteen vetolujuutta noin 15 prosenttia. Jänteen vetolujuus kasvaa sen poikkipinta-alan kasvaessa, mutta siihen vaikuttaa myös jänteen sijainti (Kauranen & Nurkka 2010, 114-115). Eri nisäkkäillä tehdyissä tutkimuksissa on todettu jänteen suurimman mahdollisen kuormituskestävyyden ja väsytykestävyyden riippuvan jänteen ja sen yhteydessä olevan lihaksen poikkipinta-alojen välisestä suhteesta (Kjaer 2004). Ohuisiin, venyviin jäniteisiin liittyy poikkipinta-alaltaan suhteessa paksut lihakset. Vastaavasti lyhyisiin paksuihin jäniteisiin liittyy ohuet lihakset. Ohut jänne venyy pituudeltaan paksua jännettä enemmän. Ohueen, venyvään jäniteeseen liittyvien lihassäikeiden tulee olla pitkiä, jotta voimansiirto onnistuu optimaalisesti ja vastaavasti paksuun jäniteeseen liittyvien lihassäikeiden tulee olla lyhyitä. (Ker, Alexander & Bennett 1988.)

Tutkimuksien mukaan poikkipinta-alojen suhteet toisiinsa nähden eroavat eri yksilöiden ja eri lajien välillä, joten tämän perusteella ei voida määrittää jänteen tarkkaa kuormituskestävyyttä. (Kjaer 2004.) Nisäkkäillä tehdyn tutkimuksen mukaan suurin osa jäniteistä on huomattavasti paksumpia, ja näin kestävämpiä, kuin mitä niiden kuormitusominaisuuksilta vaaditaan. Kuitenkin liikkumisen aikana ”jousina” toimivat jäniteet ovat tästä poikkeus. Esimerkki tällaisesta on akillesjänne, johon kohdistuvat kuormat ovat suuria. (Ker ym. 1988.)

Kuukausien ja vuosien mekaaninen kuormitus voi vaikuttaa jänteen rakenteeseen jänteen poikkipinta-alan kasvuna (Heinemeier & Kjaer 2011). Patellajänteen keskiosan poikkipinta-alan on havaittu olevan lähes 30 prosenttia suurempi enemmän työskentelevässä raajassa urheilijoilla, joiden lajissa alaraajojen käytössä on selvä puoliero (Couppe ym. 2008). Nämä löydökset näyttäisivät olevan sukupuolisidonnaisia, koska kyseisiä eroja jänteen poikkipinta-alassa ei ole yhtä johdonmukaisesti löydetty naisurheilijoiden ja vähän liikkuvien naisten välillä (Westh ym. 2008).

Poikkipinta-alan kasvun on useissa tutkimuksissa todettu tapahtuvan aluespesifisti niin patella- (Couppe ym. 2008; Seynnes ym. 2009) kuin akillesjäniteessä (Arampatzis, Karamanidis & Albracht 2007; Magnusson & Kjaer 2003, Kjaer 2004 mukaan) Arampatzis ym. (2007) totesi akillesjänteen hypertrofian tapahtuvan pääosin jänteen keskiosasta hieman proksimaalisesti. Toisessa tutkimuksessa akillesjänteen poikkipinta-

alan on juoksijoilla todettu olevan 36 prosenttia suurempi jänteen distaaliosassa kuin vastaavan osan poikkipinta-ala ei-juoksijoilla (Magnusson & Kjaer 2003). Coupe ym. (2008) ja Seynnes ym. (2009) taas totesivat patellajänteen hypertrofian tapahtuvan jänteen distaaliosissa.

Myös harjoittelukuorman on todettu vaikuttavan siihen, missä jänteen hypertrofia tapahtuu. Kongsgaard ym. (2007) havaitsivat noin 5 prosentin kasvun patellajänteen poikkipinta-alassa 12 viikon polven ojennus-voimaharjoittelun jälkeen. Poikkipinta-alan kasvua tapahtui sekä kevyellä että raskaalla voimaharjoittelulla sillä erolla, että kevyen harjoittelun seurauksena muutokset painottuivat proksimaaliosaan ja raskaan harjoittelun seurauksena poikkipinta-alan kasvua tapahtui sekä proksimaali- että distaaliosassa. Tutkijat arvelivat jänteen insertionaalialueiden olevan alttiimpia poikkipinta-alan kasvulle johtuen jänteen sisäisistä tekijöistä. Kummallakaan harjoittelumuodolla ei tapahtunut muutoksia jänteen poikkipinta-alassa sen keskiosassa. (Kongsgaard ym. 2007.)

Useissa tutkimuksissa lyhytaikaisen harjoittelun ei ole todettu aiheuttavan jänteen poikkipinta-alan kasvua (Fouré, Nordez & Cornu 2010; Hansen ym. 2003; Heinemeier & Kjaer 2011; Kubo, Kanehisa, Ito & Fukunaga 2001; Kubo ym. 2009.) Tämä voi osittain johtua siitä, että poikkipinta-alan muutos näyttäisi ilmenevän vain tietyissä jänteen osissa ja sitä voi olla vaikea havaita paljon käytetyllä ultraäänitutkimuksella (Heinemeier & Kjaer 2011). Heinemeier & Kjaer (2011) review artikkelin mukaan useat tutkimukset viittaavat siihen, että MRI antaa suhteellisen tarkkoja mittoja jänteen poikkipinta-alasta. MRI-kuvantamisella on saatu tutkimustuloksia, jotka osoittavat patellajänteen poikkipinta-alan kasvavan harjoittelun seurauksena (Coupe ym. 2008; Seynnes ym. 2009). Seynnesin ym. (2009) tutkimuksessa nämä vaikutukset saatiin jo yhdeksän viikon vastusharjoittelun seurauksena.

Arampatzis ym. (2007) havaitsivat akillesjänteen poikkipinta-alan kasvua tutkimusryhmässä, joka harjoitteli pienellä toistomäärällä 90 prosentilla maksimivoimasta. Poikkipinta-alan kasvua ei havaittu tutkimusryhmässä, jotka harjoittelivat suuremmalla toistomäärällä, mutta pienemmällä kuormalla. Harjoittelujakson pituus oli 14 viikkoa molemmissa ryhmissä. Tämä tutkimus viittaisi siihen, että tietty rasiustaso on välttämätön jänteen poikkipinta-alan kasvun aikaansaamiseksi.

4.3 Kuormituksen vaikutus jänteen mikrorakenteeseen

Useat tutkimukset osoittavat, että jännekudos mukautuu fyysiseen harjoitteluun biokemiallisella ja rakenteellisella tasolla sopeutuakseen muuttuneisiin kuormitusolosuhteisiin (Eliasson 2011; Yoon & Halper 2005). Uudelleenmuotoutumismekanismia ei kuitenkaan vielä tunneta tarkasti eikä sitä tule sekoittaa kudoksen ”paranemisprosessiin” (Yoon & Halper 2005).

On vahvoja viitteitä, että kasvanut kollageenisynteesi on osa jänteen vastetta kuormitukseen, vaikka ihmisillä tehtyjä tutkimuksia aiheesta on vähän (Heinemeier ym. 2007). Miller ym. (2005) havaitsivat kollageenin tuotannon kasvun kuormituksen seurauksena ihmisjänteillä tehdyssä tutkimuksessa. Kertaluontoisen ja pidempiaikaisen harjoittelun vaikutusta jänteen kollageenipitoisuuden kasvuun selvittäneet tutkimukset ovat johdonmukaisesti osoittaneet nousseita tasoja kollageeni 1 propeptidien eli kollageenin esiasteiden määrässä kuormitetussa jänteessä. Propeptidipitoisuuksien kasvusta on seurannut kollageenisynteesin kasvu. Propeptidien pitoisuuden kasvua on todettu niin miehillä kuin naisilla, sekä urheilijoilla ja ei-urheilijoilla. (Hansen ym. 2007; Langberg ym. 1999; Langberg, Rosendal & Kjaer 2001; Olesen ym. 2006.) Hansen ym. (2009) tutkimuksessa propeptidien nousua harjoittelun seurauksena ei kuitenkaan tilastollisesti merkittävästi ilmennyt naisilla, joilla seerumin estrogeenipitoisuudet olivat korkeat. Eläintutkimuksin on osoitettu läpimitaltaan suurien kollageenifibrillien pakkautuvan harjoittelun myötä tiiviimpään muotoon (Michna & Hartmann 1989; Yoon & Halper 2005).

On olemassa merkkejä siitä, että lisääntynyt kollageenituotanto liittyy kollageenisynteesiä stimuloivien kasvutekijöiden, kuten TGF β -1 (transforming growth factor beta 1) ja IGF-1 (insulin-like growth factor 1) eritystoimintaan. Näitä kasvutekijöitä ilmaantuu vasteena mekaaniselle ärsytykselle. (Heinemeier & Kjaer 2011.) Kuormituksen aikaansaaman tyypin 1 ja/tai 3 kollageenin ilmenemisen todettiin *in vitro* tutkimuksessa riippuvan suoraan TGF β -1 aktiviteetista ihmisen patellajänteen epäkypsässä sidekudossolussa (Yang, Crawford & Wang 2004). TGF lisää tyypin 1 ja 3 kollageenisynteesiä stimuloimalla kollageenia suojaavia aineita (tissue inhibitor of metalloproteinase eli TIMP) ja toisaalta estämällä kollageenia hajottavia aineita (matrix metalloproteinase eli MMP). TGF:n on lisäksi todettu aikaansaavan aggrecanin synteesiä, mutta ei decorinin. (Kjaer 2004.)

Kjaerin (2004) mukaan harjoittelun intensiteetillä, kuormitus tavalla ja harjoittelun palautumisjaksoilla näyttäisi olevan tärkeä rooli solun ulkoisen aineen sopeutumisessa kuormitukseen, vaikka näiden tekijöiden suhteita ja niiden merkityksiä ei tarkkaan tunneta. Hevosilla havaittiin, että matalakuormitteinen jatkuva harjoittelu aiheutti jänteen korkeamman kollageenitason kuin korkeakuormitteinen harjoittelu. (Kjaer 2004.) Jänteen proteoglykaanien kuormitusvaste riippuu kuormitustyypistä: mekaaninen jännitys saa aikaan decoriinin synteesin ja jännekompresio stimuloi agrekaanin tuotantoa (Yoon & Halper 2005).

Heinemeier ym. (2007) tutkimuksessa rotilla ei todettu eroa lyhytkestoisen konsentrisen, eksentrisen ja isometrisen harjoittelun vaikutuksissa kollageenityyppien 1 ja 3 ilmenemiseen akillesjänteessä. Tutkimuksessa mitattiin kollageenin 1 ja 3 synteesiin osallistuvan kasvutekijän TGF β -1-pitoisuutta akillesjänteen harjoittelun seurauksena. TGF β -1-pitoisuus nousi harjoittelun myötä tilastollisesti yhtä paljon eri harjoittelumuotojen jälkeen. (Heinemeier ym. 2007.)

On viitteitä siitä, että jänteen mukautuminen kuormitukseen on erilaista miehillä ja naisilla johtuen estrogeenipitoisuuden eroista. Hansenin ym. (2007) mukaan seerumin suuret estrogeenipitoisuudet heikentävät harjoittelun seurauksena kollageenin muodostusta laskien IGF-I -pitoisuutta joko suoraan tai epäsuorasti. (Hansen ym. 2007.) Estrogeenin vaikutuksesta jänteen kollageenisynteesiin levossa sekä rasituksen seurauksena on kuitenkin saatu ristiriitaisia tuloksia ja tutkimusryhmät ovat olleet pieniä (Hansen ym. 2007; Hansen, Kongsgaard ym. 2009; Hansen, Miller ym. 2009).

Kollageenin lisääntymisen lisäksi on ehdotettu, että kuormitus aikaansaa myös kollageenipoikittaissiltojen määrän lisääntymisen. Tätä perustellaan eri tutkimuksissa sillä, että jänteen jäykkyyden kasvusta huolimatta poikkipinta-alassa ei tapahdu muutosta. (Kubo, Kanehisa & Fukunaga 2002.) Heinemeirin tutkimuksessa (2007) lyhytaikainen harjoittelu rotilla nosti merkittävästi lysyl oksidaasin (LOX) -aktivaatiota sekä eksentrisen, konsentrisen että isometrisen harjoittelun seurauksena. Lysyl oksidaasi -entsyymien (LOX) aktivaation seurauksena syntetisoituu poikittaissidoksia (Heinemeier ym. 2007).

Ekstrasellulaarimatriksin (ECM) mukautuminen on seurausta fyysiselle aktiivisuudelle (Kjaer ym. 2006). Yoon & Halperin (2005) mukaan proteoglykaanit ovat suuressa roolissa jänteen rakenteellisessa ja biokemiallisessa sopeutumisessa kuormituksen muutoksiin. Kanojen akillesjänteillä tehdyssä In vitro -tutkimuksessa on osoitettu sekä proteoglykaanien että glykosaminoglykaanien pitoisuuksien nousevan kuormituksen seurauksena (Yoon & Halper 2005).

Jotkut tutkimukset ovat havainneet jännekudoksen reagoivan kuormitukseen katabolisesti stimuloimalla ekstrasellulaarimatriksia hajottavien entsyymien vapautumista (Eliasson 2011). Kjaer ym. (2006) review -artikkelin mukaan kollageenia hajottavien metalloproteaasien aktiivisuus näyttäisi kasvavan mekaanisen kuormituksen seurauksena.

4.4 Kuormituksen vaikutus jänteen jäykkyysominaisuuksiin

Kuormituksella näyttää olevan vaikutusta jänteen jäykkyysominaisuuksiin niin lyhytkestoisen kuin pitkäkestoisenkin kuormittamisen seurauksena. (Arampatzis ym. 2007; Coupe ym. 2008; Kongsgaard ym. 2007; Kubo ym. 2002; Reeves, Maganaris & Narici 2003; Seynnes ym. 2009). Harjoittelua seurannut jänteen jäykkyysominaisuuksien kasvu on todettu niin patellajänteen (Coupe ym. 2008; Kongsgaard ym. 2007; Reeves ym. 2003; Seynnes ym. 2009) kuin akillesjänteenkin (Arampatzis ym. 2007; Kubo ym. 2002) kohdalla. Jäykkyysominaisuuksien kasvu voi olla seurausta jänteen hypertrofiasta, koska jäykkyysominaisuuksien muuttuminen on suoraan riippuvainen poikkipinta-alan kasvusta. Jos jänteen poikkipinta-ala ei kuitenkaan kasva jäykkyysominaisuuksien kasvaessa, voi taustalla olla materiaalien ominaisuuksien muutokset. (Heinemeier & Kjaer 2011.)

Kubo ym. (2002) tutkimus selvitti vastusharjoittelun ja siihen liitetyn venytysharjoittelun vaikutuksia ihmisen akillesjänteen jäykkyyteen. Tutkimushenkilöt suorittivat kahdeksan viikon ajan toisella alaraajalla sekä pohjelihasvoima- että venytysharjoittelua ja toisella alaraajalla pelkästään pohjelihasvoimaharjoittelua. Akillesjännerakenteiden jäykkyys kasvoi molemmissa alaraajoissa tilastollisesti yhtä merkitsevästi. Jäykkyyden kasvun syy jäi epäselväksi, koska jänteen koko ja muoto eivät mittausten mukaan muuttuneet. Tutkijat arvioivat jäykkyyden kasvun johtuvan

jänteen sisäisten rakenteiden muutoksista kuten poikittaissiltojen määrän lisääntymisestä. (Kubo ym. 2002.)

Arampatzoksen ym. (2007) ja Reeves ym. (2003) tutkimuksissa verrattiin korkeakuormitteisen ja matalakuormitteisen harjoittelun vaikutuksia jänteen jäykkyysominaisuuksiin. Molemmissa tutkimuksissa havaittiin, että jäykkyysominaisuudet kasvoivat merkittävästi vain korkeakuormitteisen harjoittelun seurauksena. Myös Kongsgaard tutkimusryhmineen (2007) havaitsi patellajänteen jäykkyysominaisuuksien kasvun nuorilla miehillä korkeakuormitteisen harjoittelun seurauksena, mutta pienemmissä määrin kuin Reevesin ym. (2003) tutkimuksessa. Nämä tutkimustulokset antavat viitettä siitä, että tietty kuormataso tai rasiustaso on välttämätön jänteen jäykkyysominaisuuksien kasvulle. Useat tutkimukset ovat havainneet jäykkyysominaisuuksien kasvun seurauksena nousujohtoisen kuormituksen (Heinemeier & Kjaer 2011).

4.5 Immobilisaation vaikutus jänteeseen

Immobilisaatio ja vähäinen fyysinen harjoittelu näyttävät heikentävän jänteen voimantuotto- ja kestävyysominaisuuksia (Kauranen & Nurkka 2010, 115; Shin ym. 2008). Alaraajan neljän viikon kuormittamattomuuden on ihmisillä todettu heikentävän akillisjänteen mekaanisia ominaisuuksia ja vähentävän pohjelihaksen voimantuottoa pienentämättä jänteen poikkipinta-alaa (Shin ym. 2008). Moerchin ym. (2012) mukaan kahden viikon immobilisaatiojakso ei kuitenkaan vielä vaikuta jänteen normaaliin kuormitusvasteeseen. Lihassupistuksen estämisen on todettu eläimillä aiheuttavan sitä koskevan jänteen kehityksen jäävän puutteelliseksi. (Heinemeier & Kjaer 2011.) Nämä antavat viitettä kuormituksen tärkeydestä jänteen kehitykselle ja toiminnalle.

Kudossolut mukautuvat ympäristöönsä niiden saamien biologisten ja mekaanisten vihjeiden perusteella. Jänteen mukautuminen ympäristöoloihin voi olla anabolista tai katabolista. Liian vähäinen kuormitus johtaa homeostaasin siirtymiseen kataboliseen suuntaan. Tämä aiheuttaa katabolisesti vaikuttavien entsyymien ja muiden välittäjäaineiden nopean tuotannon. (Hart & Skott 2012.) Eläimillä tehdyissä tutkimuksissa on havaittu kollageenia hajottavien MMP- endopeptidien toiminnan lisääntyvän ja toisaalta kollageenin tuotannon vähentyvän jo kolmen päivän

immobilisaation seurauksena (Kjaer 2004; Hart & Skott 2012). Tutkimusten mukaan supraspinatus- ja akillesjänteessä esiintyy keskenään samoja välittäjäaineita kuormittamattomuuden seurauksena, mutta niiden vaikutus ilmenee jänteissä eri laajuisena. Kuormituksen muuttuessa jänteen sijainnilla näyttäisi olevan merkitystä solureagoinnissa. (Hart & Skott 2012.)

Matsumoton ym. (2003) eläimillä tehdyssä tutkimuksessa todettiin jänteen jänteveyden vähenevän sekä neljän että kahdeksan viikon immobilisaation seurauksena. Immobilisaation ei todettu aiheuttavan muutoksia jänteen poikkipinta-alassa eikä kasvattavan riskiä jänteen atrofiaan tai repeämään. (Matsumoto, Trudel, Uthoff & Backman 2003.) Myös ihmisjanteiden kohdalla tiedetään, että täydellinen immobilisaatio johtuen vuodelevosta tai selkäydinvammasta alentaa jänteen jäykkyysominaisuuksia. Jänteen atrofiaa on todettu ihmisillä vain selkäydinvammasta johtuvan kroonisen kuormittamattomuuden seurauksena. (Reeves 2006.)

5 TENDINOPATIA

5.1 Määritelmä

Kirjallisuudessa tendinopatian määrittely on melko kirjavaa. Tendinopatia nimitystä käytetään yleensä silloin, kuin viitataan kroonisiin jännekipuoireisiin. Kun kroonisen kivun lisäksi on ultraäänellä, MRI:llä, koepaloin tai doppler-äänikuvauksella todettavissa muutoksia jänteen säierakenteessa, säie-järjestäytymisessä ja/tai paikallisessa verisuonituksessa, tulisi käyttää termiä tendinoosi. (Alfredson 2006; Kannus ym. 2004; Miners & Bougie 2011.)

Tendinopatia on perimmältään ylirasitus- ja degeneratiivinen tila (Cheng & Chan 2008), joka ei ole riippuvainen henkilön iästä (Rees ym. 2009). Tendinopatiat ovat toistotyötä tekevien ja liikunnan harrastajien yksi yleisimmistä ja kiusallisimmista ongelmista (Leppilahti 2010). Esimerkiksi supraspinatusjänteen tendinopatiaa saattaa olla jopa noin 70 prosentilla eliittiuimareista. Toisaalta tendinopatiaa tavataan myös urheilua harrastamattomilla. (Fu ym. 2010.) Tendinopatiaa voi pitää vaikeasti hoidettavana ongelmana ja potentiaalisena uhkana henkilön työkyvylle (Rees ym. 2009). Oireiden kestosta riippuen tendinopatia jaetaan alle kaksi viikkoa kestäväan akuuttiin, 2-6 viikkoa kestäväan subakuuttiin, kuudesta viikosta kuuteen kuukauteen kestäväan subkrooniseen ja yli kuusi kuukautta kestäväan krooniseen vaiheeseen (Leppilahti 2010).

Tendinopatia voi vaikuttaa jänteen kaikkiin osiin sisältäen lihasjänneliitoksen, jänteen keskiosan, luujänneliitoksen ja paratenonin (Fu ym. 2010). Jänteen päässä mahdollistuu useammat erilaiset patologiset tilat kuin jänteen keskiosassa, koska jänteen pää on rakenteeltaan sen keskiosaa monimutkaisempi (Rees ym. 2009). Akillesjänteen tendinopatia esiintyy yleisimmin 2-6 cm jänteen proksimaalisesta insertiosta (Kader, Saxena, Movin & Maffulli 2002). Patellatendinopatia on insertionaalinen ja sijaitsee yleisimmin jänteen origossa eli jänteen proksimaalisen osan insertiossa (patella insertio) (Kongsgaard ym. 2007; Visnes ym. 2005). Tendinopatiaa esiintyy akilles- ja patellajänteen jälkeen eniten ranteen ekstensori- ja fleksorijänteiden kiinnityskohdissa, takareisilihasten proksimaalisten jänteiden kiinnityspisteessä ja rotator cuff -jänteissä (Woodley, Newsham-West & Baxter 2007).

5.2 Altistavat tekijät

Näyttäisi siltä, että jännteillä on lähtökohtainen mekaaninen vahvuus, mikä riippuu jänteen menneestä rasiustasosta. Jännekudoksen tulee kyetä mukautumaan mahdollisiin ympäristössä tapahtuviin muutoksiin elimistön homeostaasin eli tasapainon säilyttämiseksi (Hart & Scott 2012). Jänne ei välttämättä ole valmis reagoimaan tarpeeksi nopeasti äkillisiin muutoksiin jänteen rasituksessa, harjoittelutiheydessä tai -kestossa. Tällöin jänteen mekaaninen vahvuus ja mukautumiskyky saatetaan ylittää, jolloin seurauksena voi olla pieni vaurio jänteen sisällä. (Fredberg & Stengaard-Pedersen 2008.)

Normaaleissa olosuhteissa tällainen pieni vaurio paranee osana normaalia jänteen uudismuodostusta, mutta jos harjoittelu ja ylikuormitus jatkuvat, nämä pienet vauriot johtavat vähitellen eteneviin jännemuutoksiin (Fredberg & Stengaard-Pedersen 2008; Hart & Scott 2012). Pienet vauriot jänneessä voivat useiden kuukausien oireettomien jaksojen jälkeen hitaasti pahentua ja lopulta ylittää kynnyksen, jolloin oireet alkavat (Fredberg & Stengaard-Pedersen 2008).

Toistuvan mekaanisen ylikuormituksen ajatellaan aiheuttavan jänteen mikroaurioita, ja olevan tendinopatian pääasiallinen laukaisija (Eliasson 2011). Altiustekijöitä jänteen ylikuormitusoireille ja repeämälle on todettu olevan tietyt geneettiset tekijät, verityyppi, krooniset sairaudet, ylipaino, jalkojen pituuserot, jalkaterän epämuodostumat ja tiettyjen lääkkeiden käyttö (Kjaer 2004).

Heikot ja helposti väsyvät lihakset menettävät helpommin kykynsä vastaanottaa ja siirtää energiaa, jolloin riski uusille vaurioille lihas-jänneyksikössä kasvaa. Tämän vuoksi pitkiä immobilisaatiojaksoja tulisi välttää, jotta minimoidaan lihasatrofian riski. Toisaalta liian nopea harjoitteluun ja rasitukseen palaaminen voi laukaista kipukierteen ja pitkittää tendinoottisten muutosten paranemista. (Alfredson & Lorentzon 2000.)

Arnoczky, Michael & Egerbacher (2007) ovat tutkineet koeputkitutkimuksilla immobilisaation vaikutuksia eläinjännteisiin. Nämä tutkimukset ovat johdattaneet hypoteesiin siitä, että tendinopatian taustalla olisi jännesolujen katabolinen vaste jänteen alikuormitukselle mikroskooppisen kollageenivaurion seurauksena. Tutkimuksissa on

osoitettu, että jänteen alikuormitus voi saada aikaan jänteen solujen solukuolemaa. Tämä voi jatkuessaan heikentää jänteen kykyä korjata itseään. (Arnoczky ym. 2007.)

Jänteen ylirasitusvammojen altistavat tekijät voidaan Fu ym. (2010) mukaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin. Ulkoisia tekijöitä patella- ja akillesjännetendinopatiassa ovat harjoittelun kasvanut toistumistiheys ja rasitusaika. Fyysisellä aktiivisuudella ei kuitenkaan välttämättä ole tekemistä tendinopatian kanssa. Sisäisiä altistavia tekijöitä sekä akilles- että patellatendinopatiassa on nilkan alentunut dorsaalifleksio- liikkuvuus sekä M. gastrocnemiuksen ja M. quadricepsin heikkous. Nämä tekijät muuttavat lantion, polvi- ja nilkkanivelen koordinaatiota kineettisessä ketjussa. On kuitenkin epäselvää ovatko lihasheikkoudet tendinopatian syy vai seuraus. Muita sisäisiä altistavia tekijöitä voivat olla diabetes ja metaboliset häiriöt. (Fu ym. 2010.)

Akillesjänteen tendinopatiassa altistavia tekijöitä ovat ylipronatoiva jalkaterä (Cheng & Chan 2008) ja tiettyjen antibioottien sekä kortikosteroidien käyttö (Fu ym. 2010). On myös viitteitä siitä, että akillesjänneaurioiden ja sitä kautta mahdollisesti tendinopatian taustalla voisi olla perinnöllisyys (Fredberg & Stengaard-Pedersen 2008; Fu ym. 2010). Tämä epäily liittyy tiettyjen geenien ilmaantumiseen, joilla on vaikutusta solun ulkoisen aineen fysiologiseen tasapainoon (Fu ym. 2010). Tämä voisi osittain selittää sitä miksi tendinopatiaa esiintyy myös henkilöillä, jotka eivät urheilemalla ylirasita jäniteitään (Fredberg & Stengaard-Pedersen 2008).

Patellajänne on altis ylirasitukselle urheilulajeissa, joissa vaaditaan polven räjähtävää ekstensiovoimaa tai eksentristä fleksiota. Patellajänteen tendinopatialle voi altistaa hamstringlihasen kireys. (Cheng & Chan 2008.) Patellatendinopatia on kestävä ja helposti uusiutuva tila, jota esiintyy paljon hyppylajeja harrastavilla henkilöillä (Purdam ym. 2004; Young ym. 2005).

Sukupuolen altistavasta vaikutuksesta tendinopatian syntyyn on ristiriitaisia tuloksia. Tendinopatiaa on tutkimuksissa todettu esiintyvän enemmän miehillä kuin naisilla, mutta naisilla on todettu olevan suurempi riski saada tendinopatialle altistavia ylirasitusvammoja. (Cheng & Chan 2008; Fu ym. 2010.) Avaskulaariset alueet liittyvät yleisesti degeneraatioon. Jänteen altistuminen degeneraatiolle tai repeämälle on todennäköisesti useiden syiden summa. (Fenwick ym. 2002.)

5.3 Patofysiologia ja oireet

Tendinopatian oireisiin kuuluvat paikallinen liikkumiseen liittyvä kipu, paikallinen turvotus sekä arkuus (Fu ym. 2010; Kjaer 2004). Tendinopatia voi olla oireeton pitkiä ajanjaksoja jos tendinopaattiset muutokset eivät ylitä kipukynnystä. Toisaalta jo kerran poistuneet kipuoireet voivat toistuvasti uusiutua, jos jännettä kuormitetaan liian nopeasti ja virheellisesti kuntoutusjakson jälkeen. (Fredberg & Stengaard-Pedersen 2008.)

Tendinopatiassa kliinisiä löydöksiä voivat olla jänteen paksuuntuminen, kyhmyisyys ja krepitus. Akillesjänteen tendinopatiaan voi liittyä pohjelihaksen lihasvoiman heikkeneminen ja patellajänteen kohdalla quadriceps- lihaksen lihasvoiman heikkeneminen. Tendinopatian vaikuttaessa jännettä ympäröivään kudokseen, voi jänteen ympärille muodostua kontraktuura ja kalvorakenteisiin kiinnikkeitä sidekudossolujen lisääntymisen seurauksena. (Cheng & Chan 2008.) Vammamekanismin patofysiologiaa tarkastellessa, tulee Kjaerin (2004) mukaan kiinnittää huomiota erityisesti ylikuormituksen mahdollisesti aiheuttamaan tulehdusreaktioon, verenkierron säätelyyn, kudometaboliaan sekä kivun syntymekanismiin.

Jänteen ylirasitusvamma aiheuttaa morfologisia ja biokemiallisia muutoksia, kuten muutoksia fibrillikoossa, hypervaskularisoituneita alueita ja kipua aiheuttavien hermovälittäjäaineiden kertymistä. Vaurioita tapahtuu jännerakenteen lisäksi sen kalvoissa ja ympäröivissä kudoksissa. (Kjaer 2004.) Tendinoosissa on todettu tapahtuvan neovaskularisaatiota, glykosaminoglykaanien määrän lisääntymistä sekä kollageenisäikeiden rakenteen ja järjestyntymisen muutoksia (Miners & Bougie 2011). Neovaskularisaatiolla tarkoitetaan epänormaalien suonien ilmaantumista eli uudisverisuonittumista (Knobloch 2008). Yleensä tendinopaattisessa jänteessä ei ole osoitettavissa tulehduksellista tilaa (Visnes ym. 2005). Tendinopatian etiologia, patogeenesi ja oireiden kroonistuminen ovat kuitenkin vielä pitkälti epäselviä (Kannus ym. 2004).

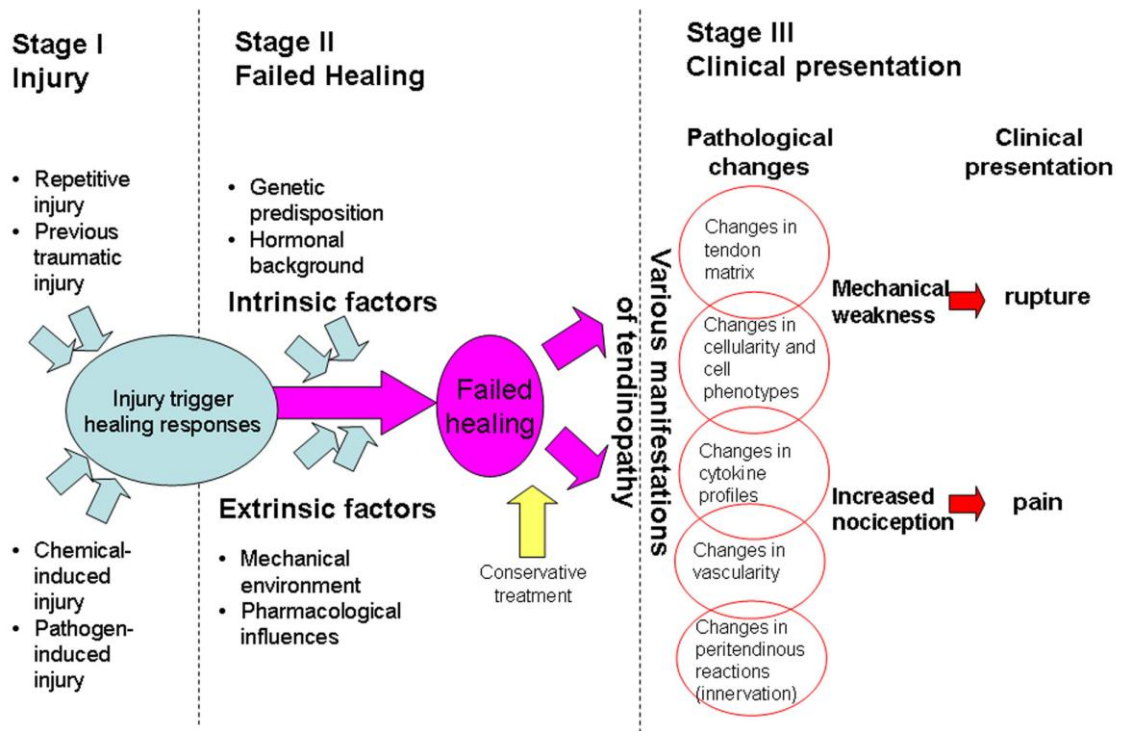
Akilles- ja patellajänteen tendinopatioissa histopatologia on samankaltainen: epäonnistunut paranemisprosessi jänteen sisällä ja uudisverisuonten muodostus. Tendinopatiassa histopatologisina muutoksina nähdään akillesjänteen kohdalla muun muassa paksuuntuminen ja sidekudossolujen lisääntyminen ympäröivissä

sidekudosrakenteissa. Degeneroituneen jänteen merkkejä voivat olla jänteen pieni happipitoisuus, rasvoittuminen, kalkkeutuminen sekä hermovälittäjäaineiden ja glutamaatin lisääntyminen. Degeneraatio voi näkyä myös muutoksina sidekudosväliaineessa ja kollageenisäikeissä. (Cheng & Chan 2008.) Jänteen sisäisen glutamaattipitoisuuden on osoitettu olevan huomattavasti koholla kivuliaassa tendinopaattisessa akillesjänteessä (Kjaer 2004).

Histologiset muutokset rotator cuff- jänneiden tendinopatiassa ovat samankaltaiset kuin akillesjänteessä (Jonsson, Walhström, Öhberg & Alfredson 2006), joskin sen etiologia koostuu useiden jänneiden eri ongelmista. Seitz ym. (2011) käsittää rotator cuffin tendinopatialla alueen ulkoisista ja sisäisistä syistä johtuvan ahtautumisen, tendiniitin eli jänteen tulehduksellisen tilan sekä tendinoosin jänteessä nähtävine mikrovaurioineen ja degeneraatiomuutoksineen. (Seitz ym. 2011.)

Krooninen tendinopatia on degeneratiivinen tila, tai vähintäänkin tila, jossa paranemisprosessi on epäonnistunut ja johon ei liity pohjimmiltaan tulehdusprosessia (Rees ym. 2009). Fun ym. (2010) review-artikkelissa tutkijat ehdottavat tendinopatian patogeneesin perustuvan ”failed healing - teoriaan” (KUVIO 7). Ylikuormitustekijät ja mikrovauriot voivat olla tendinopatian laukaisijoita, mutta eivät ole yhtä kuin tendinopatia. (Fu ym. 2010.)

Tendinopatian patogeneesi on selitettävissä kolmeportaisena prosessina: vamma, epäonnistunut paraneminen ja kliininen kuva. Ensimmäinen portas (vamma) sisältää progressiivisen kollageenikudoksen vaurion. Toinen portas eli epäonnistunut parantuminen tarkoittaa paranemisprosessin pitkittymistä. Lopulta kolmannessa portaassa ekstrasellulaarimatrixin häiriö, kasvanut uudisverenkierto sekä epänormaali solujen välisten viestiaineiden esiintyminen johtavat kroonisen tendinopatian kipuoireisiin ja edetessään mahdollisesti jännerepeämään. Tutkijaryhmän mukaan kolmannessa vaiheessa konservatiivinen hoito ei enää useinkaan tehoa jänteeseen. (Fu ym. 2010.) Tämä antaa viitteitä siitä, että jänteen kuntoutus tulee aloittaa hyvissä ajoin oireiden alettua.



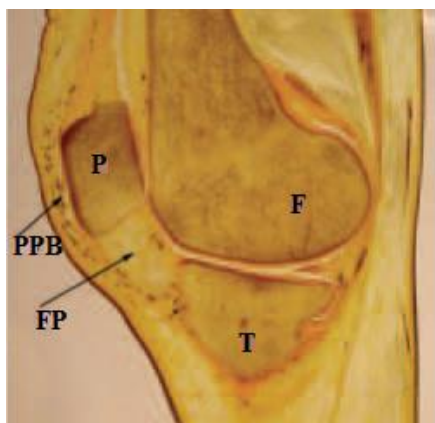
KUVIO 7. Jänteen epäonnistunut paranemisprosessi (Fu ym. 2010)

Pingelin ym. (2012) tutkimuksessa verrattiin kasvutekijöiden ja tulehduksellisten välittäjäaineiden ilmenemistä sekä janteen morfologiaa akillesjanteen terveissä ja tendinopaattisissa osissa. Tutkimustulosten mukaan tendinopaattisilla alueilla pienien kollageenifibrillien määrä oli merkittävästi suurempi verrattuna terveeseen alueeseen. Tämä tukee ajatusta siitä, että janteen tendinopaattisessa osassa tapahtuu rakenteellisia muutoksia, johtuen janteen pyrkimyksestä parantaa vaurioitunutta kudosta. Tendinopaattisessa osassa tulehdusta ja vaurion paranemista ei ollut havaittavissa. Tämä tukee ajatusta siitä, että tendinopatia on luonteeltaan enemmän degeneratiivinen prosessi kuin tulehduksellinen tila. (Pingel ym. 2012)

Janteen verenkierron on osoitettu olevan vilkkaampaa sen kipukohdassa kuin muualla janteessa. Neovaskularisaatio on yksi tendinopatian tyypillinen piirre muun muassa akillesjanteen ja patellajanteen tendinopatiassa. Tutkimuksissa on saatu selville, että uudissuonet ovat vähintäänkin osa akillesjanteen keskiosan, patellajanteen ja yläraajan janteiden tendinopatian patofysiologiaa (Knobloch 2008).

Todellisuudessa ei tiedetä onko uudisverisuonitus oireiden syy vai elimistön yritys parantaa janteen vauriot ja heikentynyt aineenvaihdunta (Kannus 16.09.2011). Ultraäänitutkimuksessa on havaittu, että patellajanteen tendinopatiassa uudisverisuonet

ovat tyypillisimmin lähtöisin Hoffan rasvapatjasta (KUVIO 8) (Knobloch 2008). Jänteen uudisverisuonitus saattaa olla yhteydessä jänteen hermokudokseen, mahdolliseen kivun lähteeseen (Lewis ym. 2009). Uudisverisuonten muodostumisen ja kivun sekä heikentyneen toiminnan on havaittu korreloivan hyvin keskenään (Cheng & Chan 2008; Knobloch 2008).



KUVIO 8. Patellan alapuolinen Hoffan rasvapatja (FP), patellan ja ihon väliin jäävä limapussi (PPB), femur (F), tibia (T) ja patella (P) (Swan & Mercer 2005)

Akillesjänteen keskiosan tendinopatian neovaskularisaatiota on verrattu terveeseen akillesjänteen verenkiertoon. Tendinopaattisissa jänteissä neovaskularisaatiota on havaittu jänteen laajentuneella ventraalisella alueella. Samaa ilmiötä ei ole havaittu terveissä jänteissä. Tämän neovaskulaarion on arveltu olevan kompensatiota jänteen ytimen degeneratiivisiin muutoksiin. Ylirasittuneissa jänteissä on havaittu olevan korkea anaerobinen aineenvaihdunta, jonka ajatellaan olevan yhteydessä jänteen ydinalueen degeneratiivisiin muutoksiin. (Kjaer 2004; Öhberg, Lorenzon & Alfredson 2001.)

Eläinkokeissa on todettu, että jännevamman yhteydessä tapahtuu hermojen sisäänkasvua jänteeseen (Ackermann, Ahmed & Kreicbergs 2002). Schubertin ym. (2005) tutkimuksessa havaittiin tiettyjen sensoristen hermojen lisääntyvän huomattavasti tendinoottisissa jänteissä, mutta ei revenneissä jänteissä. On ehdotettu, että kyseiset uudismuodostuneet hermot ovat tendinopaattisen kiputunteituksen lähde. (Alfredson, Öhberg & Forsgren 2003; Schubert ym. 2005.) Kyseiset hermot, kipureseptorien viestien kuljetuksen lisäksi, stimuloivat fibroblastien uudiskasvua, joten ne mahdollisesti osallistuvat tendinoosissa nähtävään jänteen paksuuntumiseen

(Fredberg & Stengaard-Pedersen 2008). Hermojen uudistumisalueet korreloivat jännekivun sijainnin kanssa. Hermot voivat kasvaa vaurioituneeseen jännteeseen yhdessä uudisverisuonten kanssa. (Benjamin, Kaiser & Milz 2008.)

Jänteen hermokudoksen ei-tulehduksellisen kemiallisen ärsytyksen on ehdotettu olevan mahdollinen mekanismi tendinopaattisen kivun synnyssä. Tätä ajatusta tukee tutkimus, jossa havaittiin nosiseptisten vapaiden hermopäätteiden esiintyminen subakromiaalisessa bursassa rotator cuff- tendinopatian yhteydessä. Nosiseptorit ovat voimakkaisiin ärsykkeisiin reagoivia, kudostuhosta varoittavia kipureseptoreita. (Lewis ym. 2009.)

6 EKSENTRINEN HARJOITTELU TENDINOPATIASSA

6.1 Eksentrisen harjoittelun perusteet ja vaikutusmekanismit

Tulehdusta vähentävien menetelmien on huomattu olevan tehottomia tendinopatian hoidossa, minkä vuoksi kiinnostus muita terapeuttisia hoitomuotoja kohtaan on kasvanut (Rees ym. 2009). Youngin ym. (2005) tekemässä tutkimuksessa pelkällä levolla ei todettu olevan vaikuttavuutta tendinopatian hoidossa, vaikka yllirasituksen ajatellaankin olevan tendinopatian pääasiallinen aiheuttaja. Tendinopatian aiheuttamat morfologiset ja biokemialliset muutokset vaativat Kjaerin (2004) mukaan jänteen immobilisaation sijaan sopeutettua kuormitusta.

Kullekin sopiva ja tarpeellinen kuormitustaso määräytyy yksilöllisesti. Fysiologisen sietokyvyn sisällä tapahtuva kuormitus toimii anabolisena ärsykkeenä jännteelle. Yksilölle sopivaan kuormitustasoon vaikuttaa perimä, sukupuoli, jänteen kuormitushistoria, mahdollinen aikaisempi jännevaurio, mahdolliset systeemiset sairaudet, elintavat ja anatomia. Kun kuormitus ei ole yksilölle riittävää ja optimaalista, seuraa nopea katabolisen solutoiminnan kiihtyminen. (Hart & Skott 2012.) Kudoksen saaminen takaisin tasapainoon immobilisaation, vääränlaisen kuormituksen tai kudoksen vaurion seurauksena vaatii oikeanlaista mekanoterapeuttista kuntoutusta, kuten eksentristä harjoittelua (Hart & Skott 2012; Khan & Scott 2009).

Kuntouttava harjoittelu on pitkään sisällytetty konservatiiviseen kroonisen akillesjänteen tendinopatian hoitoon (Miners & Bougie 2011). Kuormituksen ja liikkeen on todettu useissa tutkimuksissa edistävän tendinopaattisen jänteen paranemista (Eliasson 2011). Kudoksen vaurion jälkeen tapahtuva liike ei ole riskitöntä. Kuormitus saattaa aiheuttaa liiallista vauriota paranevaan kudokseen aiheuttaen paranemisprosessin epäonnistumisen ja arpimuodostuksen. (Eliasson 2011.) Kuormituksen tulee olla kontrolloitua ja suunniteltua (Kannus 2000a).

Tendinopatian kuntoutuksessa on verrattu pääasiassa eksentristä ja konsentristä harjoittelua. Konsentrisessä harjoittelussa lihasjänne-yksikkö lyhenee kuormituksen aikana, kun taas eksentrisessä harjoittelussa lihasjänne-yksikkö pitenee kuormituksen kohdistuessa siihen (Rees ym. 2009.) Kubon ym. (2000) tutkimuksessa nilkan

konsentrisessa plantaarifleksiossa jänne lyheni lihaksen tapaan, ja eksentrisessä dorsaalifleksio-vaiheessa sekä jänne että lihas pitenivät.

In vitro -tutkimustulosten mukaan eksentrisessä harjoittelussa jänteeseen kohdistuu konsentrista harjoittelua suurempi voima, josta seuraa suurempi ärsyke jänteen uudelleen muotoutumiselle (Stanish, Rubinovich & Curvin 1986). In vivo -tutkimuksin on kuitenkin todettu voiman suuruuden olevan samaa luokkaa sekä konsentrisessa että eksentrisessä harjoittelumuodossa. Toisaalta eksentrisessä harjoittelussa on havaittu siniaallon muotoista voiman vaihtelua liikkeen aikana, mitä ei ole havaittu konsentrisen harjoittelun yhteydessä. Voiman vaihtelu vaikeuttaa dynaamisen liikkeen kontrollointia ja näin stimuloi jänteen uudismuodostusta sen paranemisprosessissa. (Rees ym. 2009.)

Syytä eksentrisen harjoittelun positiivisille vaikutuksille ei ole pystytty yksiselitteisesti määrittämään (Kjaer 2004; Rees ym. 2009; Woodley ym. 2007), mutta teorioita vaikutustavasta on monia. Merkittävimmäksi syyksi ajatellaan uudisverisuonituksen vähentymistä eksentrisen harjoittelun myötä (Knobloch 2007; Öhberg, Lorenzon ja Alfredson 2004; Öhberg & Alfredson 2004). Knoblochin (2007) tutkimuksessa 12 viikon eksentrisen harjoittelun havaittiin vähentävän patologistesti voimistunutta jänteen verenkiertoa sekä insertionaalisessa että keskialueen akillestendinopatiassa heikentämättä jänteen paikallista mikroverenkiertoa. Öhbergin ja Alfredsonin (2004) tutkimuksessa 36 koehenkilöstä 32:lla uudisverisuonitus oli vähentynyt ultraäänellä tutkittuna 12 viikon eksentrisen pohjelihasharjoittelun jälkeen. Tutkimuksessa todettiin jokaisen eksentrisen harjoittelusyklin aikana tapahtuvan väliaikaista katkonaisuutta uudisverisuonten verenkierrossa vaurioittaen uudisverisuonia. (Öhberg & Alfredson 2004.)

Eksentrisen harjoittelu saattaa uudisverisuonten lisäksi vaurioittaa niiden rinnalla kulkevia uudishermoja johtaen verenkierron normalisoitumiseen ja kipuaistimuksen vähenemiseen (Öhberg & Alfredson 2004). Muut mahdolliset vaikutusmekanismit koskevat jänteen rakenteellisia ominaisuuksia; niitä ovat jänteen tilavuuden pieneneminen (Shalabi ym. 2004), lihas-jänne yksikön jäykkyyden ja voiman kasvu (Alfredson, Pietilä, Jonsson & Lorenzon 1998; Miners & Bougie 2011), kollageeniristikäissäidosten määrän lisääntyminen (Woodley ym. 2007) sekä kollageenisäierakenteen normalisoituminen (Öhberg, Lorenzon ja Alfredson 2004).

Stanish ym. (1986) ovat ehdottaneet eksentrisen harjoittelun aiheuttavan lihasjänneyksikön pidentymistä, jonka tuloksena jänteeseen kohdistuisi pienempi rasitus liikkumisen aikana. Pohjelihasjänneyksikön mekaanisia ominaisuuksia selvittäneessä tutkimuksessa kuuden viikon eksentrisen harjoittelu ei muuttanut jänteen jäykkyyttä, mutta nilkan dorsaalifleksion liikelaajuus kasvoi. Tämä viittaa muutoksiin plantaarifleksiota tuottavissa lihaksissa. Tarkasteltaessa jänteen mekaanista sopeutumista harjoittelulle onkin huomioitava koko lihasjänneyksikkö. (Rees ym. 2009.)

6.2 Kuntoutusprotokollat eksentrisessä harjoittelussa

Alun perin eksentristä harjoittelua tendinopatian kuntoutuksessa ehdottivat Stanish ym. vuonna 1986 (taulukko 1). He toteuttivat kuuden viikon eksentriseen harjoitteluun pohjautuvan harjoittelujakson 200 tutkimushenkilölle, joilla oli akillesjänteen tendinopatia. Harjoitteita tehtiin kolme kymmenen toiston sarjaa kerran päivässä. Tätä seurasi Alfredson ym. (1998) toteuttama ensimmäinen kontrolloitu, mutta ei satunnaistettu tutkimus eksentrisen harjoittelun vaikuttavuudesta akillesjänteen tendinopatiaan (taulukko 1). Sekä interventio- että kontrolliryhmässä oli 15 tutkimushenkilöä. Kontrolliryhmänä oli kirurgisesti hoidettava ryhmä. Tutkimuksesta saatujen hyvien tulosten myötä harjoitteluprotokollan käyttö akillesjänteen tendinopatian eksentrisessä harjoittelussa on vakiintunut (Fahlström, Jonsson, Lorenzon & Alfredson 2003; Vos ym. 2007; Öhberg & Alfredson 2004).

Alfredsonin ym. (1998) esittelemä harjoitusprotokolla on laajalti käytössä akillesjännettä (taulukko 1) sekä patellajännettä (taulukko 2) koskevissa tutkimuksissa (Bahr, Fossan, Loken & Engebretsen 2006; Fahlström ym. 2003; Purdam ym. 2004; Visnes ym. 2005; Vos ym. 2007; Young ym. 2005; Öhberg & Alfredson 2004). Protokollassa harjoitteet toteutetaan kolmena 15 toiston sarjana kaksi kertaa päivässä 12 viikon ajan. Akillesjänteen kohdalla harjoitteita on kaksi, jolloin toistoja päivässä on yhteensä 180. Samaa toistomäärää ja intensiteettiä on sovellettu rotator cuff -jänneiden tendinopatian kuntoutuksessa, mutta näyttöä vaikuttavuudesta on vähän (Bernhardsson, Klintberg & Wendtin 2011; Hahn ym. 2010). Yksittäisissä tutkimuksissa on käytetty eri toistomäärää tai intensiteettiä (Knoblock ym. 2007; Visnes & Bahr 2007). Knoblockin ym. (2007) tutkimuksessa eksentriset harjoitteet tehtiin kerran päivässä.

TAULUKKO 1. Akillesjänteen tendinopatian eksentrisen harjoittelu käsittelemissämmä 12 viikon tutkimusprotokollissa

Tekijä/t	Tutki- mus- menet- elmä	Tutkimus- henkilöt	Jänne- lkm	Si- jainti	Interventio- ryhmä (I)	Kont- rolliry- hmä (K)	Tulokset
Stanish ym. (1986)	-	200, Urheilijoita	200	-	1x3x10/pv, nopeusperustai- nen	-	Kipu↓
Alfredson ym. (1998)	CT	30, keski-ikä 44 Vapaa-ajan urheilijoita	30	KO (15)	2x3x15/pv/ harjoite kipu- perustainen	Leikk- ausry- hmä (15)	I: Kipu↓ K: Kipu↓
Fahlström ym. (2003)	-	108, Useimmat vapaa-ajan urheilijoita	132	KO (101) IO (31)	KO & IO: 2x3x15/pv harjoite, kipu- perustainen	-	KO: Kipu↓ IO: Kipu -
Öhberg & Alfredson (2004)	-	31, keski-ikä 48, useimmat urheilijoita	41	KO	2x3x15 /pv/harjoite, kipuperustaine- n	-	Kipu ↓ Uudisverisuon. ↓ Jännerakenne normalisoitui
Vos ym. (2007) RCT	RCT	58, keski-ikä 45, aktiivisia liikkujia	70	KO	2x3x15 /pv/harjoite (34), kipuperustaine- n	EH+ yölast- a (36)	I:Toimintakyky ↑ K:Toimintakyky↑
Knoblock (2007)	-	59, keski-ikä 49,	64	KO (54) IO (10)	KO & IO: 1x3x15/pv, kipuperustaine- n	-	KO: Kipu ↓ Uudisverisuon. ↓ IO: Kipu↓ Uudisverisuon. ↓

KO= keskiosa, IO= insertionaalinen, I= interventio-ryhmä, K= kontrolliryhmä, CT= Kontrolloitu tutkimus, RCT= satunnaistettu kontrolloitu tutkimus, EH= eksentrisen harjoittelu

TAULUKKO 2. Eksentrisen harjoittelun (12 viikkoa päivittäin) vaikuttavuus tutkimushenkilöiden toimintakykyyn ja kokemaan kipuun patellajänteen tendinopatiassa

Tekijä	Tutkimusmenetelmä	Tutkimushenkilöt	Jänne lkm	Sijainti	Interventio-ryhmä (I)	Kontrolliryhmä (K)	Tulokset
Purdam ym. (2004)	CT	17, keski-ikä 25, urheilijoita	22	patella insertio (proksimaalinen)	2x3x15/pv LL kipuperustainen	2x3x15 /pv T kipuperustainen	I: kipu ↓ K: kipu -
Young ym. (2005)	RCT	17, keski-ikä 27, ammattilentopalloilijoita,	17	patella insertio (proksimaalinen)	2x3x15/pv LL kipuperustainen	2x3x15 /pv T nopeuserustainen	I: kipu ↓, toim.k. ↑ K: kipu ↓, toim.k. ↑ 12kk seurannassa I toim. kyky K merkittävämpi.
Visnes ym. (2005)	RCT	29, keski-ikä 27, Ammattilentopalloilijoita	29	insertionaalinen (proksimaalinen, distaalinen)	2x3x15/pv LL kipuperustainen + lentopallo lajiharj.	Lentopallo lajiharj.	I: toimintakyky - K: toimintakyky -
Bahr ym. (2006)	RCT	35, keski-ikä 31, urheilua harrastavia	40	patella insertio (proksimaalinen)	2x3x15/pv LL kipuperustainen	2x3x15 /pv L + mukaautettu EH	I: toimintakyky ↑ K: toimintakyky ↑

LL= laskulauta, T= tasainen alusta, L= leikkaus, EH= eksentrisen harjoittelu, I= interventioryhmä, K= kontrolliryhmä, CT= Kontrolloitu tutkimus, RCT= satunnaistettu kontrolloitu tutkimus

Useimmissa akilles- (Fahlström ym. 2003; Vos ym. 2007; Öhberg & Alfredson 2004) ja patellajännettä (Bahr ym. 2006; Purdam ym. 2004; Visnes ym. 2005; Young ym. 2005) koskevilla tutkimuksilla harjoittelun intensiteetti on määritelty Alfredson ym. (1998) mukaan kipuperustaisesti (taulukko 1; taulukko 2). Kipuperustaisessa harjoittelussa liike suoritetaan rauhalliseen tahtiin niin, että henkilö kokee pientä kipua tai epämukavuutta harjoituksen aikana. Kuormaa lisätään progressiivisesti aina kun harjoitteita tehdessä ei enää tunnu kipua (KUVA 1). (Alfredson ym. 1998.)

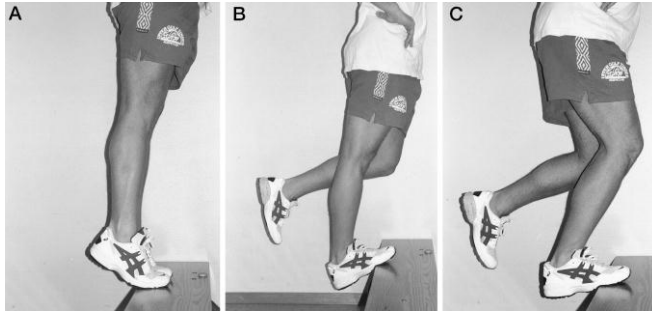


KUVA 1. Kuorman lisäys eksentrisessä akillesjänneharjoittelussa. Kuorman lisäys selkäreppuun (A), kuorman lisäys vastuslaitteella (B) (Alfredson ym. 1998)

Kipuperustaisen, rauhalliseen tahtiin suoritettavan harjoittelun vaihtoehtona on vähemmän käytetty nopeusperustainen harjoittelu, jonka Stanish ym. esittelivät vuonna 1986. Protokollassa harjoitteet suoritetaan kivutta, nopeutta progressiivisesti nostaen. Youngin ym. (2005) tutkimus vertasi nopeusperustaista ja kipuperustaista protokollaa keskenään. Molemmilla harjoitteluryhmillä toimintakyky parantui ja mitattu kipu väheni 12 viikon harjoittelun seurauksena. Suorien syy-seuraussuhteiden tulkintaa ei tutkimuksen pohjalta voi tehdä, koska muuttujina olivat myös harjoittelualustat.

Useissa tutkimuksissa (Fahlström ym. 2003; Knoblock 2007; Vos ym. 2007; Öhberg & Alfredson 2004) akillesjänteen eksentriset harjoitusliikkeet on valittu Alfredsonin ym. (1998) tutkimuksen mukaisesti. Harjoitteet tehdään korokkeen reunalla niin, että kantapää laskee alle päkiän tason. Näin suoritettulla harjoittelulla pyritään tekemään harjoite nilkan koko liikelaajuudella. Nilkan dorsaalifleksiossa akillesjänteeseen kohdistuu vetojännitys, mikä stimuloi decorinin synteesiä ja näin

kollageenimuodostusta (Yoon & Halper 2005). Harjoitteissa oireeton puoli suorittaa liikkeen konsentrisen vaiheen (A) ja oirepuolen alaraaja eksentrisen vaiheen (B). Suoritettavia harjoitteita on kaksi. Toisessa pökiänousu tehdään polvi suorana (B) ja toisessa polvi koukistettuna (C), jolloin saadaan aikaan M. soleuksen maksimaalinen lihasaktivaatio. (KUVA 2) (Alfredson ym. 1998).



KUVA 2. Akillesjänteen eksentrisen harjoittelu. A konsentrisen vaihe, B eksentrisen vaihe polvi suorana, C eksentrisen vaihe polvi koukussa (Alfredson ym. 1998)

Patellajänteen tendinopatian eksentrisessä harjoittelussa jänteeseen kohdistuva kuorma saadaan maksimoitua suorittamalla harjoitteet 25 astetta alaspäin viettävällä laudalla, kyykistyen selkä suorassa vähintään 60 asteen polvikulmaan (KUVA 3). Laskulaudalla tehtävässä harjoittelussa oirepuolen alaraaja suorittaa eksentrisen vaiheen ja terve alaraaja konsentrisen vaiheen. (Bahr ym. 2006; Purdam ym. 2004; Visnes ym. 2005; Young ym. 2005.) Laskulauta on todettu tasaista alustaa vaikuttavammaksi harjoittelualustaksi Youngin ym. (2005) ja Purdamin ym. (2004) tutkimuksissa.



KUVA 3. Patellajänteen eksentrisen harjoittelu laskulaudalla (Purdam ym. 2004)

6.3 Eksentrisen harjoittelun vaikuttavuus tendinopatian kuntoutuksessa

Eksentrisestä harjoittelusta on useiden yksittäisten tutkimusten perusteella todettu olevan hyötyä akilles- ja patellajänteen tendinopatian kuntoutuksessa (Alfredson & Lorentzon 2000; Bahr ym. 2006; Bernhardsson ym. 2011; Jonsson & Alfredson 2005; Knoblockin 2007; Purdam ym. 2004; Young ym. 2005; Öhberg, Lorentzon & Alfredson 2004), mutta näyttö menetelmän vaikuttavuudesta on osin ristiriitaista. Hyvistä tutkimustuloksista huolimatta Wasielewskin & Kotskon (2007) katsauksen mukaan eksentrisen harjoittelun paremmuutta muihin terapeuttisen harjoittelun muotoihin ei ole pystytty kiistatta osoittamaan. Osassa tutkimuksista tutkimusmenetelmällinen laatu on heikko, koska tutkimuksista puuttuu kontrolliryhmä (Fahlström ym. 2003; Knoblock ym. 2007; Stanish ym. 1986; Öhberg & Alfredson 2004) tai tutkimuksia ei ole satunnaistettu (Alfredson ym. 1998; Purdam ym. 2004). Näyttöä eksentrisen harjoittelun vaikuttavuudesta olkapään jänteiden tendinopatiaan on toistaiseksi niukasti ja tutkimuksia sen suhteen kaivataan lisää (Hahn ym. 2010).

Eksentrisen harjoittelun on Sussmilch-Leitchin ym. (2012) meta-analyysissä todettu olevan yksi vaikuttavimmista akillesjänteen tendinopatian kuntoutukseen käytetyistä fysioterapiamenetelmistä. Tutkimuksilla on saatu todisteita akillesjänteen eksentrisen harjoittelun positiivisesta vaikutuksesta lähinnä sen keskiosan tendinopatiassa (Alfredson ym. 1998; Alfredson & Öhberg 2004; Kingma ym. 2007; Magnussen ym. 2009; Vos ym. 2007). Yhtä vakuuttavia tuloksia ei ole saatu insertionaalisen akillestendinopatian kohdalla (Fahlström ym. 2003; Knoblock ym. 2007). Meyer, Tumilty & Baxter (2009) eivät pystyneet osoittamaan kirjallisuuskatsauksessaan akillesjänteen ei-insertionaalisen tendinopatian kohdalla ensisijaista harjoitteluannosta.

Patellajänteen tendinopatian hoidossa eksentrisen harjoittelu on vaikuttavin käytetyistä aktiivisista harjoittelumuodoista Larssonin ym. (2012) mukaan. Eksentrisestä harjoittelusta on saatu hyviä tuloksia etenkin proksimaalisen patellajänteen tendinopatian kuntoutuksessa (Purdam ym. 2004; Visnes & Bahr 2007; Young ym. 2005). Kuormitustavan, vastuksen, frekvenssin ja harjoitteluannoksen määrittämiseksi tarvitaan kuitenkin lisää tutkimuksia (Larsson ym. 2012). Myös erilaisten harjoitusmuotojen, esimerkiksi venyttelyn, yhdistämisestä eksentriseen harjoitteluun voi olla hyötyä (Dimitrios, Pantelis & Kalliopi 2012).

Käsitlemme eksentrisen harjoittelun vaikuttavuutta tendinopatiaan pääasiassa kolmen katsausartikkelin pohjalta (Kingma ym. 2007; Visnes & Bahr 2007; Woodley ym. 2007). Suurin osa katsausartikkelien sisältämistä patella- ja akillesjännettä koskevista tutkimuksista on tehty urheilijoilla tai aktiivisilla liikunnan harrastajilla. Tutkimushenkilöiden iän keskiarvo vaihtelee pääasiassa 26 ja 48 ikävuoden välillä. Yleisimpinä tulostittareina katsausartikkelien sisältämissä tutkimuksissa on käytetty VAS- kipumittaria ja VISA- toimintakykymittaria. VAS- kipujana on todettu luotettavaksi mittaamaan sekä kroonista että kokemuksellista kipua (Price, McGrath, Rafii & Buckingham 1983), vaikka kivun arvioinnin toistettavuudessa on todettu olevan vaihtelevuutta (Dixon & Bird 1981). VISA- toimintakykymittari on todettu luotettavaksi kuvaamaan patellajänteen tendinopatiasta aiheutuvien oireiden ja toimintakykyhaitan astetta (Visentini ym. 1998). Tutkimuksissa on käytetty myös muita mittareita kuten FAOS (Foot and Ankle Outcome Score) ja Ordinal Scale.

Kingman, Knikkerin, Wittinkin & Takkenin (2007) systemaattinen katsaus tarkasteli eksentrisen harjoittelun vaikuttavuutta koettuun kipuun ja toimintakykyyn potilailla, joilla oli krooninen akillesjänteen tendinopatia. Kivun ja toimintakyvyn arviointiin käytetty mittari vaihteli tutkimusten välillä. Katsauksessa tarkasteltiin yhdeksää eri tutkimusta, joista neljä oli satunnaistettuja kontrolloituja tutkimuksia (RCT). Nämä tutkimukset oli julkaistu vuosien 1998 ja 2004 välillä ja niissä oli yhteensä 145 tutkimushenkilöä. Yksi tutkimus oli kontrolloitu, mutta ei satunnaistettu ja neljässä tutkimuksessa ei ollut kontrolliryhmää. Eksentristä harjoittelua verrattiin kolmessa tutkimuksessa konsentriseen harjoitteluun, yhdessä leikkaukseen ja yhdessä yölastan käyttöön. Satunnaistetuissa kontrolloiduissa tutkimuksissa harjoitusjakson pituus oli 12 viikkoa. RCT- tutkimukset noudattivat yhtä lukuun ottamatta Alfredsonin (1998) kuntoutusprotokollaa. (Kingma ym. 2007.)

Kaikissa kirjallisuuskatsauksen käsittelemissä RCT- tutkimuksissa kipu väheni sekä interventio- että kontrolliryhmässä. Yhtä tutkimusta lukuun ottamatta kipu väheni interventioryhmässä kontrolliryhmää enemmän. RCT- tutkimusten interventioryhmissä kipu väheni keskimäärin 60 prosenttia, kun kontrolliryhmissä keskimääräinen kivun vähentyminen oli noin 35 prosenttia. Yllä mainitut tulokset antavat tukea eksentriselle pohjelihasharjoittelulle kroonisen akillesjänteen tendinopatian kivun hoidossa. Kingman ym. (2007) mukaan harjoittelun vaikuttavuutta toimintakykyyn tarkastelleissa

tutkimuksissa oli puutteita ja niiden metodologinen laatu ei ollut riittävä johtopäätösten tekemiseen. (Kingma ym. 2007.)

Visnesin & Bahrin (2007) katsauksessa käsiteltiin seitsemää patellajänteen tendinopatian eksentrisen harjoittelun vaikuttavuutta käsittelevää tutkimusartikkelia. Tutkimukset oli julkaistu vuoden 2000 jälkeen. Katsaukseen sisältyi kuusi RCT-tutkimusta, joissa oli yhteensä 145 tutkimushenkilöä. Yksi tutkimus oli kontrolloitu pilottitutkimus. RCT-tutkimuksista neljässä interventioryhmä toteutti eksentrisen harjoittelun laskulaudalla ja kahdessa tasaisella alustalla. Yhdessä eksentriseen harjoitteluun oli yhdistetty venytysharjoittelu. Kontrolliryhminä toimivat konsentrisen harjoittelu, harjoittelu tasaisella alustalla, ultraäänihoito, tavallinen lajiharjoittelu ja leikkaushoito. (Visnes & Bahr 2007.)

Neljässä RCT-tutkimuksessa harjoittelu toteutettiin Alfredsonin ym. (1998) mallin mukaan kahdesti päivässä kolmena 15 sarjana. Yhdessä tutkimuksessa harjoittelu toteutettiin kolmesti viikossa kolmena 15 toiston sarjana ja yhdessä tutkimuksessa viidesti viikossa kolmena 20 toiston sarjana. Viidessä RCT-tutkimuksessa harjoittelujakson pituus oli 12 viikkoa ja yhdessä neljä viikkoa. Seurantajakson pituus vaihteli kolmesta kuukaudesta 33 kuukauteen. Yhdessä tutkimuksessa seurantajaksoa ei ollut. (Visnes & Bahr 2007.)

RCT- tutkimuksissa kivun ja toimintakyvyn arviointiin käytettiin VAS- janaa ja VISA-toimintakykymittaristoa. Lisäksi arvioitiin aktiiviseen toimintaan paluuta ja potilaan tyytyväisyyttä kuntoutukseen. Mittarien ja arviointimenetelmien lukumäärä vaihteli eri tutkimusten välillä. Eksentrisen harjoittelu patellajänteen tendinopatian kuntoutuksessa oli vaikuttavaa viidessä RCT-tutkimuksessa. Harjoitteluvaikutukset olivat merkittävästi kontrolliryhmää parempia kahdessa viidestä RCT-tutkimuksesta. Toisessa näistä tutkimuksista eksentrisen harjoittelu suoritettiin laskulaudalla ja sitä verrattiin konsentriseen harjoitteluun. Kivussa ja toimintakyvyssä tapahtuneet positiiviset harjoitusvaikutukset säilyivät yli kahden vuoden seurantajakson ajan. Kontrolliryhmästä kaikille suoritettiin leikkaushoito tai skleroterapia- hoito yli kahden vuoden seurannan sisällä. Skleroterapiaa käytetään tukkimaan uudisverisuonet (Kannus 16.9.2011). Toisessa tutkimuksessa tasaisella alustalla suoritettuna eksentrisen harjoittelun lisäksi tehtiin venytysharjoittelua. Kontrolliryhmänä oli ultraäänihoitoa saanut ryhmä. Tässä tutkimuksessa tutkimushenkilöiden tyytyväisyys kivun vähenemiseen säilyi kolmen

kuukauden seurantajakson ajan. Tutkijat raportoivat sadan prosentin tyytyväisyyden kivun vähenemiseen interventioryhmässä, mutta sitä ei mitattu virallisella tulostittarilla. (Visnes & Bahr 2007.)

Woodleyn ym. (2007) systemaattinen kirjallisuuskatsaus käsitteli 11 RCT- tutkimusta eksentrisen harjoittelun vaikuttavuudesta tendinopatiaan. Tutkimukset oli julkaistu vuosien 1992 ja 2005 välisenä aikana. Mukana oli neljä akillesjärkeellä, neljä patellajärkeellä ja kolme ranteen ekstensorijärkeellä tehtyä tutkimusta. Tutkimushenkilöitä oli yhteensä 422. Tutkimuksissa mitattiin kipua, aktiiviseen toimintaan paluuta ja toimintakykyä. Tulostittarina käytettiin seitsemässä tutkimuksessa VAS-kipujanaa. Muita käytettyjä mittareita olivat VISA-toimintakykymittari ja Foot Ankle Outcome Score (FAOS). Lisäksi osassa tutkimuksista arvioitiin koehenkilöiden aktiiviseen toimintaan paluuta sekä tyytyväisyyttä kivun helpottumiseen.

Kahdeksassa tutkimuksessa intervention pituus oli 12 viikkoa, kahdessa neljä viikkoa ja yhdessä kuusi viikkoa. Tutkimusten välillä oli vaihtelua harjoitusprotokollissa. Tutkimuksissa vaihteli harjoittelun intensiteetti, toistomäärät ja harjoittelutavat. Akillesjärkeen eksentrisessä kuntoutuksessa käytettiin pääosin Alfredsonin ym. (1998) esittelemää protokollaa ja patellajärkeen kuntoutuksessa laskulaudalla sekä tasaisella alustalla tehtävää kyykkyharjoittelua. Seurantajakson pituus vaihteli kuudesta viikosta vuoteen. Neljässä tutkimuksessa seurantajaksoa ei ollut. Kontrolliryhminä oli kuudessa tutkimuksessa konsentrisen harjoittelu, kahdessa tutkimuksessa ultraäänihoito, yhdessä yölasta, yhdessä manuaalinen käsittely, kahdessa tutkimuksessa venytysharjoittelu ja yhdessä tavanomainen lajiharjoittelu. (Woodley ym. 2007.)

Kahdessa patellajärkeen tendinopatiaa koskevassa tutkimuksessa saatiin tilastollisesti merkittäviä tuloksia kivun helpottumisesta eksentrisen harjoittelun seurauksena. Toisessa tutkimuksessa seurantajakson pituus oli yli kaksi vuotta ja toisessa kolme kuukautta. Molemmissa tutkimuksissa harjoitteluvaikutukset säilyivät koko seurantajakson ajan. Kahdessa akillesjärkeen tendinopatiaa käsittelevässä tutkimuksessa 12 viikon eksentrisen harjoittelun todettiin edistävän aktiiviseen toimintaan paluuta konsentrista harjoittelua paremmin. Nämä tutkimukset olivat kuitenkin Woodleyn ym. (2007) mukaan metodologisesti heikkolaatuisia, joten tulokset eivät ole yleistettävissä. Missään tutkimuksessa laadulliset kriteerit eivät riittäneet eksentrisen harjoittelun

vaikuttavuuden osoittamiseen toimintakyvyssä. Eksentrisen harjoittelun vaikuttavuuden yleistettävyyttä tendinopatiassa on tämän katsauksen perusteella huono. (Woodley ym. 2007.)

Kingma ym. (2007) ja Woodley ym. (2007) käsittelivät katsauksissaan samat akillesjänteen tendinopatian eksentristä harjoittelua koskevat RCT- tutkimukset, joita oli yhteensä neljä. Kolmessa näistä tutkimuksista kipu väheni, toimintakyky parani ja/tai aktiiviseen toimintaan paluu parani interventoryhmässä kontrolliryhmää enemmän. Sekä Kingma ym. (2007) että Woodley ym. (2007) kritisoivat tutkimusten menetelmällistä laatua ja tutkimustulosten yleistettävyyttä erityisesti toimintakyvyn ja aktiiviseen toimintaan paluun osalta. Jännekipu väheni merkittävästi 12 viikon eksentrisellä harjoittelulla kahdessa RCT -tutkimuksessa. Toisessa eksentriseen harjoitteluun yhdistettiin konsentrista harjoittelua ja liikelaajuusharjoittelua, ja kipua mitattiin VAS-asteikolla. Toisessa harjoittelussa nostettiin harjoittelumäärää progressiivisesti ensimmäisen viikon ajan niin, että viikon päästä harjoittelun alkamisesta harjoituksia tehtiin kolmena 15 toiston sarjana Alfredsonin ym. (1998) protokollan mukaisesti. Tässä tutkimuksessa kipua mitattiin FAOS-mittarilla. Eksentrisen harjoittelun vaikuttavuutta ei voida yleistää tutkimusten suppeuden ja osin laadullisten puutteiden vuoksi, vaikka eksentrisen harjoittelun vaikutus kipuun näyttääkin lupaavalta (Kingma ym. 2007).

Patellajänteen tendinopatiassa eksentrisellä harjoittelulla on todettu olevan konsentrista harjoittelua ja ultraäänihoitoa merkitsevämpi vaikuttavuus sekä kipuun että toimintakykyyn kahdessa RCT-tutkimuksessa. Nämä tutkimukset ovat sekä Visnesin & Bahrin (2007) että Woodleyn ym. (2007) mukaan menetelmällisesti laadukkaita. Toisessa näistä tutkimuksista eksentrisen kyykkyharjoittelu toteutettiin 25 astetta alaspäin viettävällä laudalla ja toisessa tasaisella alustalla. Molemmissa tutkimuksissa harjoittelu oli kipuperustaista ja eksentrisen vaihe tehtiin rauhalliseen tahtiin Alfredsonin ym. (1998) mallin mukaisesti. Tasaisella alustalla harjoitellut ryhmä teki harjoitukset kolmena 15 toiston sarjana, kolmesti viikossa neljän viikon ajan. Laskulaudalla harjoitellut harjoitusryhmä teki harjoitukset kolmena 15 toiston sarjana, kahdesti päivässä 12 viikon ajan. Näiden kahden tutkimuksen pohjalta näyttäisi siltä, että 12 viikon eksentrisen harjoittelu on riittävä vähentämään patellajänteen kipua ja parantamaan toimintakykyä patellajänteen tendinopatian kuntoutuksessa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tendinopatiaa kuvaillaan jänteen yllärasitukselliseksi ja degeneratiiviseksi tilaksi, joka aiheuttaa kipuoireita yleisimmin patella- ja akillesjänteessä. Tendinopatia on yleinen urheilijoilla tavattu ongelma, mutta sitä esiintyy myös urheilua harrastamattomilla. Tämän taustalla voi olla muun muassa tietyt tendinopatiale altistavat geneettiset tekijät. Patellajänteen tendinopatia esiintyy sen kiinnityskohdissa kun akillesjänteessä sitä tavataan yleisimmin jänteen keskiosassa. Tendinopatian tarkkaa etiologiaa, patogeneesiä ja oireiden kroonistumisen syytä ei tiedetä. Tausta tendinopatiassa on monisyinen ja mahdollisia selittäviä tekijöitä on useita.

Toistuvan mekaanisen ylikuormituksen ja sen aiheuttamien mikroaurioiden ajatellaan olevan jännekipuoireiden pääasiallisia aiheuttajia. Tämän hetkisen tutkimustiedon mukaan jänteen sisään kasvavat uudisverisuonet ja -hermot ovat merkittävä tekijä jännekivun taustalla. Tendinopatiaan voi liittyä muutoksia kollageenisäierakenteessa- ja järjestäytymisessä, joihin kuormituksella on todettu olevan positiivisia vaikutuksia. Lisäksi kuormituksen on todettu vaikuttavan jänteen kollageeniristikäissäidosten määrään, poikkipinta-alaan, jäykkyyteen ja metaboliaan. Akillesjänteessä poikkipinta-alaan on havaittu kasvavan korkeakuormitteisen harjoittelun seurauksena jänteen keskiosassa ja siitä hieman proksimaalisesti. Patellajänneessä poikkipinta-alaan kasvu tapahtuu pääosin jänteen proksimaalisessa kiinnityskohdissa, mutta korkealla eksentrisellä kuormitustasolla harjoitteluvaikutuksia on saatu myös jänteen distaaliseen kiinnityskohtaan.

Eksentrisen harjoittelun vaikuttavuudesta tendinopatian kuntoutuksessa on osin ristiriitaista tietoa. Useissa tutkimuksissa eksentrisellä harjoittelulla on saatu hyviä tuloksia, mutta vaikuttavuus suhteessa kontrolliryhmiin on ollut vaihtelevaa. Menetelmällisessä laadussa on useiden tutkimusten kohdalla puutteita. Kivun on todettu vähenevän eksentrisen harjoittelun seurauksena sekä akilles- että patellajänteen tendinopatiassa. On viitettä siitä, että eksentrisen harjoittelu parantaa toimintakykyä ja edistää aktiiviseen toimintaan paluuta etenkin patellajänteen tendinopatiassa.

Syytä eksentrisen harjoittelun vaikuttavuudelle tendinopatiaan ei ole pystytty yksiselitteisesti määrittämään, mutta teorioita vaikutustavasta on monia. Merkittävimmäksi syyksi ajatellaan uudisverisuonituksen vähentymistä eksentrisen harjoittelun myötä. Muut eksentristä harjoittelua selittävät teorit käsittelevät lihasjänneyksikön voimankasvua, tilavuuden pienenemistä ja kollageenisäierakenteen normalisoitumista.

Käsitlemissämme katsausartikkeleissa hyviä tuloksia saaneissa RCT-tutkimuksissa on kaikissa käytetty erilaisia harjoitusprotokollia. Hyviä tutkimustuloksia on saatu erilaisilla harjoitusaluustoilla, toistomäärillä, harjoitusintensiteeteillä ja eri kuntoutusmuotojen yhdistelmillä. Hyviä harjoitteluvaikutuksia on saatu 4-16 viikon interventiojaksoilla. Alfredsonin ym. (1998) eksentrisen harjoitteluprotokolla ja sen mukaiset toistomäärät ovat kuitenkin yleistyneet käytäntöön. Näyttäisi siltä, että Alfredsonin protokollalta ensisijaisena harjoitusmallina puuttuu tieteellinen perusta. Alfredsonin mukaan harjoitteluprotokollan käyttö sai alkunsa hänen omasta tarpeesta akillesjänteen tendinopatiasta kuntoutumiseen.

Stanishin alkuperäistutkimuksessa harjoitteet suoritettiin nopeutta progressiivisesti nostoen. Alfredsonin esittelemässä harjoitusprotokollassa harjoitteet toteutetaan rauhallisella nopeudella. Näiden menetelmien vaikuttavuutta vertailevaa tutkimusta akillesjänteen tendinopatiassa ei tietääksemme ole tehty. Patellajännteen tendinopatiassa harjoitusnopeuden vaikutusta on tutkittu, mutta selvää vastausta kysymykseen ei ole saatu. Tutkimuksessa erosi harjoitusnopeuden lisäksi harjoitusalustat, joten suorja johtopäätöksiä ei voida tehdä. Eri eksentristen harjoitusprotokollien välillä tarvitaan lisää vertailevaa tutkimusta.

Eksentrisessä harjoittelussa pyritään lähes poikkeuksetta maksimoimaan jänteeseen kohdistuva kuorma Alfredsonin esittelemän mallin mukaisesti. Vaikka korkeakuormitteisella eksentrisellä harjoittelulla on saatu hyviä tuloksia, ei sen vaikutusmekanismia tiedetä. Korkeakuormitteisen harjoittelun ensisijaiselle käytölle tendinopaattisen jännteen eksentrisessä kuntoutuksessa on tietääksemme vain vähän tieteellistä pohjaa. Matala- ja korkeakuormitteista eksentristä harjoittelua vertailevaa tutkimusta tarvitaan lisää.

Käsitlemissämme tutkimuksissa tutkimusryhmät ovat pääosin koostuneet akillesjänteen tendinopatiassa keski-ikäisistä ja patellajänteen tendinopatiassa nuorista aikuisista. Akilles- ja erityisesti patellajänteen tendinopatian kohdalla tutkimushenkilöt ovat olleet urheilijoita, jolloin tendinopatian taustalla on todennäköisesti ollut ylikuormitus. Liikuntaa harrastamattomilla ja toistotyötä tekevillä tutkimuksia on julkaistu vähän, vaikka tendinopatiaa esiintyy myös näissä ryhmissä. Tutkimusten painottuminen urheilijoihin heikentää eksentrisen harjoittelun vaikuttavuuden yleistettävyyttä muihin kohderyhmiin. Toisaalta urheilijat useimmiten jatkavat lajiharjoitteluaan kivusta huolimatta ja heidän tarve sekä motivaatio kuntoutumiseen voi olla liikuntaa harrastamattomia suurempi. Eksentrisen harjoittelun mahdollisuudet myös ennaltaehkäisevänä tukiharjoitteluna tulisi kartoittaa erityisesti ammattiurheilijoilla.

On viitettä siitä, että eksentrisen harjoittelun vaikuttavuus urheilijoilla kärsii jos sen ohella suoritetaan normaalia lajiharjoittelua. Tämä saattaa liittyä siihen, että kokonaiskuormitus on liian suuri, jolloin jänteen paranemisprosessi ei onnistu. Toisaalta vaikuttavana tekijänä voi olla se, että eksentrisen kuntouttavan harjoittelun ohessa jatketaan sitä toimintatapaa, joka on mahdollisesti jänteen patologisen tilan taustalla. Hyvä kysymys onkin miksi ylikuormituksesta johtuva tila voi parantua jännettä kuormittamalla? Pelkästään levolla ei ole saatu helpotettua tendinopatian kipuoireita. Tendinopatian taustalla olevat tekijät tulee poistaa ja jänteen sopeutettu kuntouttava harjoittelu aloittaa, jotta jänteen paraneminen voi alkaa. Kuormitus tulee mitoittaa yksilölle sopivaksi jänteen kuormituskestävyys huomioiden. Mielestämme eksentrisen harjoittelun intensiteettiä ja volyymia suunniteltaessa tulisi huomioida ennemmin kunkin henkilön harjoittelutausta ja yksilöllisyys, kuin noudattaa vakiintunutta harjoitteluprotokollaa. Lisäksi tulisi huomioida kivun taustalla mahdollisesti olevat psyykkiset tekijät.

Tendinopatia lisää riskiä jännerepeämään. Tärkeänä perusteena eksentrisen harjoittelun sisällyttämisessä tendinopatian kuntoutukseen on kirurgiselta hoidolta välttyminen. Tutkimukset antavat viitettä siitä, että eksentrisen harjoittelun vaikuttavuus tendinopatian hoidossa on vähintäänkin yhtä hyvä kuin leikkaushoito. Tutkimuksissa suositellaan eksentrisen harjoittelun kokeilemistä ennen leikkaushoitoa myös huomattavista kipuoireista kärsivillä henkilöillä.

Avoimia kysymyksiä eksentrisen harjoittelun suhteen on vielä paljon. Tutkimukset osoittavat eksentrisen harjoittelun olevan vaikuttava tendinopatian kuntoutusmuoto, mutta eksentrisen harjoittelun vaikuttavuudesta suhteessa muihin kuntoutusmenetelmiin on ristiriitaista tietoa. Eri harjoitus- ja hoitomuotojen yhdistäminen eksentriseen harjoitteluun saattaa olla pelkkää eksentristä harjoittelua vaikuttavampaa. Erilaisia toistomääriä ja harjoitusintensiteettejä tulisi tutkia ja kokeilla rohkeasti. Vakiintuneista käytänteistä irtautuminen laajentaisi mielestämme eksentrisen harjoittelun mahdollisuuksia.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota tietoa tendinopatiasta ja sen kuntoutuksessa käytetystä eksentrisestä harjoittelusta fysioterapeuttiopiskelijoiden ja fysioterapeuttien käyttöön. Tarkoituksena oli kuvata perusteet eksentrisen harjoittelun käytölle. Tavoitteemme tiedon kokoamisesta onnistui mielestämme hyvin. Eksentrisen harjoittelun vaikuttavuudesta olisi ollut hyvä kuvata useampia systemaattisia katsauksia monipuolisemman tutkimusotannan saamiseksi. Toisaalta laadukkaita RCT-tutkimuksia aiheesta on vähän ja jo kolmessa käsittelemässämme katsauksessa tutkimusten välillä oli päällekkäisyyttä.

Olemme työstäneet opinnäytetyötä vuoden ajan, mutta kirjoitustyö on painottunut viimeisen kahdeksan kuukauden ajalle. Opinnäytetyöaiheemme on ollut samalla haastava ja mielenkiintoinen. Olemme oppineet työmme kautta paitsi opinnäytetyöprosessista, erityisesti jänteestä ja sen harjoittamisesta. Aihealue oli meille ennestään vieras ja jänteen rakenteen sekä monimutkaisen toiminnallisen roolin ymmärtäminen oli haastavaa. Käytimme opinnäytetyössämme paljon aikaa tiedon hankintaan ja raportin selkeän ulkoasun rakentamiseen. Opinnäytetyöprosessin alussa emme määritelleet tarkkaan kriteerejä lähdemateriaalin haulle ja rajaukselle, jolloin olisimme säästyneet turhalta tiedon hankinnalta. Toisaalta prosessi opetti meille paljon, koska jouduimme karsimaan kokoamaamme tietoa jälkikäteen ja näin arvioimaan kunkin tutkimuksen luotettavuutta sekä merkittävyyttä opinnäytetyön kannalta. Teksti oli haasteellista pitää helposti luettavana, koska raportti on sisällöllisesti hyvin teoreettista ja asiapitoista. Raportin muotoilussa pyrimme huomioimaan työn soveltuvuutta opetusmateriaaliksi.

Mielestämme kuvasimme eksentrisen harjoittelun perusteita tarjolla olevan tiedon puitteissa monipuolisesti. Koimme haastavaksi kuvata kuntoutusprotokollia niin, että ne antavat kattavan käsityksen harjoittelusta, toimien kuitenkin vain esimerkkeinä eksentrisistä harjoittelumalleista. Opinnäytetyöraporttimme soveltumista esimerkiksi työterveyshuoltoon heikentää sen painottuminen alaraajan tendinopatioihin ja urheilijoilla tehtyihin tutkimuksiin. Tutkimuksia aiheesta toistotyöntekijöillä oli saatavilla vähän. Esittelemiämme protokollia ei suoraan voi hyödyntää esimerkiksi rotator cuff- jänteiden tai kyynärvarren ekstensorijänteiden tendinopatioissa, joita

esiintyy usein toistotyötä tekevillä. Tällöin fysioterapeutin työssä korostuu taito soveltaa eksentristä harjoittelua teorian pohjalta.

Edetessämme tiedonhankinnassa törmäsimme yhä useammin samoihin tutkijoihin, koska eksentrisen harjoittelun tutkimushistoria on melko nuori ja tutkijajoukko suhteellisen pieni. Aiheesta on melko vähän laadukkaita RCT-tutkimuksia, minkä vuoksi emme saaneet arvioitua eksentrisen harjoittelun vaikuttavuutta siinä määrin kun aluksi toivoimme. Jälkikäteen ajateltuna erilaisia harjoitusprotokollia esitellessämme olisi ollut syytä ottaa huomioon myös yksittäiset, Alfredsonin ja Stanishin malleista poikkeavat harjoitusprotokollat. Eksentrisen harjoittelu -osion lopullinen rakenne hahmottui meille vasta prosessin loppuvaiheessa, joten käsitelimme käytänteistä poikkeavia protokollia vain vaikuttavuuden osalta.

Tieto eksentrisestä harjoittelusta osana tendinopatian kuntoutusta on lisääntynyt ja osin muuttunut viimeisen vuosikymmenen aikana. Aiheesta on vähän suomenkielistä tutkimuksiin pohjautuvaa aineistoa. Koimme tärkeäksi koota tendinopatian eksentrisestä harjoittelusta päivitettyä tutkimustietoa fysioterapeuttiopiskelijoiden ja fysioterapeuttien käyttöön. Mielestämme katsaus soveltuu fysioterapeuttiopiskelijoiden oppimateriaaliksi syventäviin opintoihin sekä luento- että käytännön harjoitusmateriaaliksi. Opinnäytetyöraportin otsakkeiden sisällöt soveltuvat opetukseen myös itsenäisinä materiaaleina, jolloin koko raportin hyödyntäminen kerrallaan ei ole välttämätöntä. Jänteen rakenne, toiminta ja kuormitusvaste ovat jokaiselle fysioterapeutille tärkeää perustietoa käytännön työn pohjalle. Jänneongelmat ovat yleinen tuki- ja liikuntaelinvaiva, joihin jokainen fysioterapeutti törmää työssään. Oman kokemuksemme perusteella fysioterapeutin peruskoulutus tarjoaa aiheesta niukasti tietoa.

Jatkossa on hyödyllistä koota harjoitteluopas tendinopatian eksentrisestä kuntoutuksesta. Opas tarjoaisi konkreettisen työvälineen käytännön työhön. Oppaaseen olisi hyvä sisällyttää useampia harjoitusprotokollia esimerkeiksi, joita fysioterapeutti voisi soveltaa ja yhdistää kuntoutujakohtaisesti. Oma mielenkiintomme heräsi prosessin loppuvaiheessa jännettä ympäröivien kalvojen rakennemuutosten vaikutuksesta lihasjänneyksikön voimansiirtoon ja tendinopatian syntyyn. Löysimme aiheesta tuoreen tutkimuksen, mutta rajasimme sen aiheemme ulkopuolelle ajan puutteen vuoksi. Tässä voisi olla ajatusta tuleviin saman aihepiiriin opinnäytetöihin.

LÄHTEET

- Ackermann, P., Ahmed, M & Kreicbergs, A. 2002. Early nerve regeneration after Achilles tendon rupture: a prerequisite for healing? A study in the rat. *The Journal of Orthopaedic Research* 20, 849-856.
- Alfredson, H. 2006. Strategies in treatment of tendon overuse injury. The chronic painful tendon. *European Journal of Sport Science* 6 (2), 81-85.
- Alfredson, H. & Lorentzon, R. 2000. Chronic achilles tendinosis: recommendations for treatment and prevention. *Sports Medicine* 29 (2), 135-146.
- Alfredson, H., Pietilä, T., Jonsson, P. & Lorentzon, R. 1998. Heavy-load eccentric calf muscle training for the Treatment of Chronic Achilles Tendinosis. *The American Journal of Sports Medicine* 26 (3), 360-366.
- Alfredson, H., Öhberg, L. & Forsgren, S. 2003. Is vasculo-neural ingrowth the cause of pain in chronic achilles tendinosis? *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 11, 334-338.
- Arampatzis, A., Karamanidis, K. & Albracht, K. 2007. Adaptational responses of the human Achilles tendon by modulation of the applied cyclic strain magnitude. *The Journal of Experimental Biology* 210, 2743-2753.
- Arnoczky, S., Michael, L. & Egerbacher, M. 2007. The mechanobiological aetiopathogenesis of tendinopathy: is it the over-stimulation or the under-stimulation of tendon cells? *International Journal of Experimental Pathology* 88, 217-226.
- Bahr, R., Fossan, B., Loken, S. & Engebretsen, L. 2006. Surgical treatment compared with eccentric training for patellar tendinopathy (jumper's knee): a randomized, controlled trial. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 88A (8), 1689-1698.
- Benjamin, M., Kaiser, E. & Milz, S. 2008. Structure-function relationships in tendons: a review. *Journal of Anatomy* 212 (3), 211-228.
- Bernhardsson, S., Klintberg, I. & Wendt, K. 2011. Evaluation of an exercise concept focusing on eccentric strength training of the rotator cuff for patients with subacromial impingement syndrome. *Clinical Rehabilitation* 25, 69-78.
- Bojsen-Møller, J., Kalliokoski, K., Seppänen, M., Kjaer, M. & Magnusson, S-P. 2006. Low-intensity tensile loading increases intratendinous glucose uptake in the Achilles tendon. *Journal of Applied Physiology* 101 (1), 196-201.
- Buehler, M. & Wong, S. 2007. Entropic elasticity controls nanomechanics of single tropocollagen molecules. *Biophysical Journal* 93, 37-43.
- Butler, D., Grood, E., Noyes, F. & Zernicke, R. 1978. Biomechanics of Ligaments and Tendons. *Exercise and Sports Sciences Reviews* 6 (1), 132-137.
- Carr, A. & Norris, S. 1989. The blood supply of the calcaneal tendon. *Journal of Bone and Joint Surgery* 71, 100.

Carroll, C., Dickinson, J., Haus, J., Lee, G., Hollon, C., Aagaard, P., Magnusson, S. & Trappe, T. 2008. Influence of aging on the in vivo properties of human patellar tendon. *Journal of Applied Physiology* 105, 1907-1915.

Cheng, S. & Chan, O. 2008. Achilles and patellar tendinopathy: Current understanding of pathophysiology and management. *Disability and Rehabilitation* 30 (20-22), 1608-1615.

Coupe, C., Hansen, P., Kongsgaard, M., Kovanen, V., Suetta, C., Aagaard, P., Kjaer, M. & Magnusson, S-P. 2009. Mechanical properties and collagen cross-linking of the patellar tendon in old and young men. *Journal of Applied Physiology* 107 (3), 880-886.

Coupe, C., Kongsgaard, M., Aagaard, P., Hansen, P., Bojsen-Möller, J., Kjaer, M. & Magnusson, S. 2008. Habitual loading results in tendon hypertrophy and increased stiffness of the human patellar tendon. *Journal of Applied Physiology* 105, 805–810.

Dimitrios, S., Pantelis, M. & Kalliopi, S. 2012. Comparing the effects of eccentric training with eccentric training and static stretching exercises in the treatment of patellar tendinopathy. *Clinical Rehabilitation* 26 (5), 423-430.

Eliasson, P. 2011. Response to mechanical loading in healing tendons. Linköping University Medical dissertations no. 1247. Linköping University. Department of Clinical and Experimental Medicine. Väitöskirja.

Fahlström, M., Jonsson, P., Lorenzon, R. & Alfredson, H. 2003. Chronic Achilles tendon pain treated with eccentric calf-muscle training. *Knee Surgery, Sports, Traumatology, Arthroscopy* 11, 327-333.

Fenwick, B., Hazleman, L. & Riley, G. 2002. The vasculature and its role in the damaged and healing tendon. *Arthritis Research* 4 (4), 252-260.

Finni, T., Hodgson, J., Lai, A., Edgerton, V. & Sinha, S. 2003. Nonuniform strain of human soleus aponeurosis-tendon complex during submaximal voluntary contractions in vivo. *Journal of Applied Physiology* 95, 829–837.

Forslund, C. 2003. BMP treatment for improving tendon repair. Studies on rat and rabbit Achilles tendons. *Acta Orthopaedica Scandinavica Supplementum* 308 (74), 1-30.

Fouré, A., Nordez, A. & Cornu, C. 2010. Plyometric training effects on Achilles tendon stiffness and dissipative properties. *Journal of Applied Physiology* 109, 849-854.

Fredberg, U. & Stengaard-Pedersen, K. 2008. Chronic tendinopathy tissue pathology, pain mechanisms, and etiology with a special focus on inflammation. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 18, 3–15.

Fu, S., Rolf, C., Cheuk, Y., Lui, P. & Chan, K. 2010. Deciphering the pathogenesis of tendinopathy: a three-stages process. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology* 2 (30), 1-12.

Gröger, H., Aro, H., Böstman, O., Lassus, J. & Salo, J. (toim.) 2010. Traumatologia. 7. uudistettu painos. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Hansen, M., Koskinen, S., Petersen, S., Doessing, S., Frystyk, J., Flyvbjerg, A., Westh, E., Magnusson, P., Kjaer, M. & Langberg, H. 2007. Ethinyl oestradiol administration in women suppresses synthesis of collagen in tendon in response to exercise. *Journal of Physiology* 586 (12), 3005–3016.

Hansen, M., Kongsgaard, M., Holm, L., Skovgaard, D., Magnusson, P., Qvortrup, K., Larsen, J., Dahl, M., Serup, A., Frystyk, J., Flyvbjerg, A., Langberg, H. & Kjaer, M. 2009. Effect of estrogen on tendon collagen synthesis, tendon structural characteristics, and biomechanical properties in postmenopausal women. *Journal of Applied Physiology* 106 (4), 1385-1393.

Hansen, M., Miller, B., Holm, L., Doesing, S., Petersen, S., Skovgaard, D., Frystyk, J., Flyvbjerg, A., Koskinen, S., Pingel, J., Kjaer, M. & Langberg, H. 2009. Effect of administration of oral contraceptives in vivo on collagen synthesis in tendon and muscle connective tissue in young women. *Journal of Applied Physiology* 106, 1435-1443.

Hansen, P., Aagaard, P., Kjaer, M., Larsson, B. & Magnusson, S. 2003. Effect of habitual running on human Achilles tendon load-deformation properties and cross-sectional area. *Journal of Applied Physiology* 95, 2375–2380.

Hart, D. & Skott, A. 2012. Getting the dose right when prescribing exercise for connective tissue conditions: the Ying and Yang of tissue homeostasis. *British Journal of Sports Medicine* 46, 696-698.

Heinemeier, K-M., Olesen, J-L., Haddad, F., Langberg, H., Kjaer, M., Baldwin, K-M. & Schjerling, P. 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 (3), 1303-1316.

Heinemeier, K. & Kjaer, M. 2011. In vivo investigation of tendon responses to mechanical loading. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions* 11 (2), 115-123.

Ishikawa, M., Komi, P., Grey, M., Lepola, V. & Bruggemann, G-P. 2005. Muscle-tendon interaction and elastic energy usage in human walking. *Journal of Applied Physiology* 99, 603-608.

Johansson, K., Axelin, A., Stolt, M. & Ääri, R-L. 2007. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja sen tekeminen. Hoitotieteen laitoksen julkaisuja, tutkimuksia ja raportteja A51. Turku: Turun yliopisto.

Jonsson, P. & Alfredson, H. 2005. Superior results with eccentric compared to concentric quadriceps training in patients with jumper's knee: a prospective randomised study. *British Journal of Sports Medicine* 39, 847–850.

Jonsson, P., Wahlström, P., Öhberg, L. & Alfredson, H. 2006. Eccentric training in chronic painful impingement syndrome of the shoulder: results of a pilot study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 14, 76–81.

- Józsa, L. & Kannus, P. 1997. Human tendons. *Anatomy, Physiology, and Pathology. Human Kinetics: Illinois.*
- Kader, D., Saxena, A., Movin, T. & Maffulli, N. 2002. Achilles tendinopathy: some aspects of basic science and clinical management. *British Journal of Sports Medicine* 36, 239-249.
- Kagan, H. & Li, W. 2003. Lysyl oxidase: properties, specificity and biological roles inside and outside of the cell. *Journal of Cellular Biochemistry* 88 (4), 660-672.
- Kannus, P. Lääketieteen tohtori. 2011. Haastattelu 16.09.2011. Haastattelija Rousi-Laine, M. Tampere.
- Kannus, P. Lääketieteen tohtori. 2012. Haastattelu 18.06.2012. Haastattelija Rousi-Laine, M. Tampere.
- Kannus, P. 2000a. Immobilization or early mobilization after an acute soft-tissue injury? *The Physician and Sports Medicine* 28 (3), 55-63.
- Kannus, P. 2000b. Structure of the tendon connective tissue. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 10 (6), 312-320.
- Kannus, P., Järvinen, T., Järvinen, T., Parkkari, J. & Järvinen, M. 2004. Jänteiden rasisvammojen konservatiivinen hoito. *Suomen lääkäri-lehti* 59 (45), 4369-4372.
- Kauranen, K. & Nurkka, N. 2010. Biomekaniikkaa liikunnan ja terveydenhuollon ammattilaisille. Helsinki: Liikuntatieteellinen Seura ry.
- Kawakami, Y., Muraoka, T., Ito, S., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. 2002. In vivo muscle fibre behaviour during countermovement exercise in humans reveals a significant role for tendon elasticity. *Journal of Physiology* 540 (2), 635-646.
- Ker, R., Alexander, R. & Bennett, M. 1988. Why are mammalian tendons so thick? *Journal of Zoology, London* 216, 309-324.
- Khan, K., Cook, J., Bonar, F., Harcourt, P. & Åstrom, M. 1999. Histopathology of Common Tendinopathies. *Clinical Journal of Sports Medicine* 27 (6), 393-408.
- Khan, K. & Scott, A. 2009. Mechanotherapy: how physical therapists` prescription of exercise promotes tissue repair. *British Journal of Sports Medicine* 43, 247-252.
- Kingma, J., Knikker, R., Wittink, H. & Takken, T. 2007. Eccentric overload training in patients with chronic Achilles tendinopathy: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine* 41 (6), e1-e5.
- Kjaer, M. 2004. Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. *Physiological Reviews* 84, 649-698.
- Kjaer, M., Magnusson, P., Krosgaard, M., Boysen Moller, J., Olesen, J., Heinemeier, K., Hansen, M., Haraldsson, B., Koskinen, S., Esmarck, B. & Langberg, H. 2006. Extracellular matrix adaptation of tendon and skeletal muscle to exercise. *Journal of anatomy* 208 (4), 445-450.

Knobloch, K. 2007. Eccentric training in Achilles tendinopathy: is it harmful to tendon microcirculation? *British Journal of Sports Medicine* 41 (6), 2.

Knobloch, K. 2008. The role of tendon microcirculation in Achilles and patellar tendinopathy. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 3 (18), 1-13.

Kongsgaard, M., Aagaard, P., Kjaer, M. & Magnusson, S. 2005. Structural Achilles tendon properties in athletes subjected to different exercise modes and in Achilles tendon rupture patients. *Journal of Applied Physiology* 99, 1965-1971.

Kongsgaard, M., Reitelseder, S., Pedersen, T., Holm, L., Aagaard, P., Kjaer, M. & Magnusson, S. 2007. Region specific patellar tendon hypertrophy in humans following resistance training. *Acta Physiologica* 191, 111-121.

Kubo, K., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. 2002. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *The Journal of Physiology* 538 (1), 219-226.

Kubo, K., Kanehisa, H., Takeshita, D., Kawakami, Y., Fukashiro, S. & Fukunaga, T. 2000. In vivo dynamics of human medial gastrocnemius musculotendon complex during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiologica Scandinavica* 170, 127-135.

Kubo, K., Kawakami, Y. & Fukunaga, T. 1999. Influence of Elastic Properties of Tendon Structures on Jump Performance in Humans. *Journal of Applied Physiology* 87, 2090-2096.

Kubo, K., Kanehisa, H., Ito, M. & Fukunaga, T. 2001. Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. *Journal of Applied Physiology* 91, 26-32.

Kubo, K., Ikebukuro, T., Yaeshima, K., Yata, H., Tsunoda, N., & Kanehisa, H. 2009. Effects of static and dynamic training on the stiffness and blood volume of tendon in vivo. *Journal of Applied Physiology* 106, 412-417.

Langberg H., Skovgaard D., Petersen L., Bulow J. & Kjaer, M. 1999. Type I collagen synthesis and degradation in peritendinous tissue after exercise determined by microdialysis in humans. *Journal of Physiology* 521, 299-306.

Langberg, H., Rosendal, L. & Kjaer, M. 2001. Training-induced changes in peritendinous type I collagen turnover determined by microdialysis in humans. *Journal of Physiology* 534, 297-302.

Larsson, M., Käll, I. & Nilsson-Helander, K. 2012. Treatment of patellar tendinopathy - a systematic review of randomized controlled trials. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 20 (8), 1632-1646.

Leppilahti, J. 2010. Akillesjanteen tendinopatia ja repeämä. Lääkäriin tietokannat. Luettu 20.5.2012. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

Leppäluoto, J., Kettunen, R., Rintamäki, H., Vakkuri, O., Vierimaa, H. & Lätti, S. 2007. *Anatomia ja Fysiologia*. WSOY: Porvoo.

- Lewis, J., Raza, S., Pilcher, J., Heron, C. & Poloniecki, J. 2009. The prevalence of neovascularity in patients clinically diagnosed with rotator cuff tendinopathy. *BioMed Central Musculoskeletal Disorders* 10, 163.
- Lichtwark, G. & Wilson, A. 2005. In vivo mechanical properties of the human Achilles tendon during one-legged hopping. *The Journal of Experimental Biology* 208, 4715-4725.
- Lieber, R., Leonard, M. & Brown-Maupin, C. 2000. Effects of muscle contraction on the load-strain properties of frog aponeurosis and tendon. *Cells Tissues Organs* 166, 48-54.
- Maffulli, N., Renström, P. & Leadbetter, W. 2005. *Tendon Injuries. Basic Science and Clinical Medicine*. Lontoo: Springer.
- Maganaris, C & Paul, J. 2000. In vivo human tendinous tissue stretch upon maximum muscle force generation. *Journal of Biomechanics* 33, 1453-1459.
- Magnussen, R., Dunn, W. & Thomson, A. 2009. Nonoperative treatment of midportion Achilles tendinopathy: a systematic review. *Clinical Journal of Sport Medicine* 19 (1), 54-64.
- Magnusson, S. & Kjaer, M. 2003. Region-specific differences in Achilles tendon cross-sectional area in runners and non-runners. *European Journal of Applied Physiology* 90 (5-6), 549-553.
- Matsumoto, F., Trudel, G., Uthoff, H. & Backman, D. 2003. Mechanical Effects of immobilization on the achilles' tendon. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 84, 662-667.
- Metsämuuronen, J. 2003. Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä. 2. uudistettu painos. Jyväskylä: Gummerrus kirjapaino Oy.
- Meyer, A., Tumilty, S. & Baxter, G. 2009. Eccentric exercise protocols for chronic non-insertional Achilles tendinopathy: how much is enough? *Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports* 19 (5), 609-615.
- Michna, H. & Hartmann, G. 1989. Adaptation of tendon collagen to exercise. *International orthopaedics* 13 (3), 161-165.
- Miller, B., Olesen, J., Hansen, M., Døssing, S., Crameri, R., Welling, R., Langberg, H., Flyvbjerg, A., Kjaer, M., Babraj, J., Smith, K. & Rennie, M. 2005. Coordinated collagen and muscle protein synthesis in human patella tendon and quadriceps muscle after exercise. *Journal of Physiology* 567 (3), 1021-1033.
- Miners, A. & Bougie, T. 2011. Chronic Achilles tendinopathy: a case study of treatment incorporating active and passive tissue warm-up, Graston Technique®, ART®, eccentric exercise, and cryotherapy. *Journal of Canadian Chiropractic Association* 55 (4), 269-279.

Moerch, L., Pingel, J., Boesen, M., Kjaer, M. & Langberg H. 2012. The effect of acute exercise on collagen turnover in human tendons: influence of prior immobilization period. *European Journal of Applied Physiology* 7/2012.

O'Brien, M. 2005. The Anatomy of the Achilles Tendon. *Foot and ankle clinics* 10 (2), 225-238.

Olesen, J., Heinemeier, K., Gemmer, C., Kjaer, M., Flyvbjerg, A. & Langberg, H. 2006. Exercise dependent IGF-I, IGFBPs and type-I collagen changes in human peritendinous connective tissue determined by microdialysis. *Journal of Applied Physiology* 102, 214-220.

Pingel, J., Fredberg, U., Qvortrup, K., Larsen, J., Schjerling, P., Heinemeier, K., Kjaer, M. & Langberg, H. 2012. Local biochemical and morphological differences in human Achilles tendinopathy: a case control study. *BMC Musculoskeletal Disorders* 13 (53), 1-13.

Price, D., McGrath, P., Rafii, A. & Buckingham, B. 1983. The Validation of Visual Analogue Scales as Ratio Scale Measures for Chronic and Experimental Pain. *Pain* 17, 45-56.

Purdam, C., Cook, J., Hopper, D. & Khan, K. 2003. Discriminative ability of functional loading tests for adolescent jumper's knee. *Physical Therapy in Sports* 4 (1), 3-9.

Purdam, C., Jonsson, P., Alfredson, H., Lorentzon, R., Cook, J. & Khan, K. 2004. A pilot study of the eccentric decline squat in the management of painful chronic patellar tendinopathy. *Journal of Sports medicine* 38, 395-397.

Ralphs, J. 2002. Cell Biology of Tendons. *European Cells and Materials* 4 (1), 39-40.

Rees, J., Wolman, R. & Wilson, A. 2009. Eccentric exercises; why do they work, what are the problems and how can we improve them? *Journal of Sports Medicine* 43, 242-246.

Reeves, N., Maganaris C. & Narici M. 2003. Effect of strength training on human patella tendon mechanical properties of older individuals. *Journal of Physiology* 548 (3), 971-981.

Reeves, N. 2006. Adaptation of the tendon to mechanical usage. *Journal of Musculoskeletal neuronal interact* 6 (2), 174-180.

Schubert, T., Weidler, C., Lerch, K., Hofstädter, F. & Straub, R. 2005. Achilles tendinosis is associated with sprouting of substance P positive nerve fibres. *Annals of the Rheumatic Diseases* 64, 1083-1086.

Seitz, A., McClure, P., Finucane, S., Boardman, D. & Michener, L. 2011. Mechanism of rotator cuff tendinopathy: Intrinsic, extrinsic, or both? *Clinical Biomechanics* 26, 1-12.

Seynnes, O., Erskine, R., Maganaris, C., Longo, S., Simoneau, E., Grosset, J. & Narici, M. 2009. Training-induced changes in structural and mechanical properties of the patellar tendon are related to muscle hypertrophy but not to strength gains. *Journal of Applied Physiology* 107, 523-530.

- Shalabi, A., Kristoffersen-Wilberg, M., Svensson, L., Aspelin, P. & Movin, P. 2004. Eccentric training of the gastrocnemius-soleus complex in chronic achilles tendinopathy results in decreased tendon volume and intratendinous signal as evaluated by MRI. *The American Journal of Sports Medicine* 32 (5), 1286-1296.
- Shin, D., Finni, T., Ahn, S., Hodgson, J., Lee, H., Edgerton, R. & Sinha, S. 2008. Effect of chronic unloading and rehabilitation on human Achilles tendon properties: a velocity-encoded phase-contrast MRI study. *Journal of Applied Physiology* October 105 (4), 1179-1186.
- Stanish, W., Rubinovich, R., & Curvin, S. 1986. Eccentric exercise in chronic tendinitis. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 208, 65-68.
- Stein, V., Laprell, H., Tinnemeyer, S. & Petersen, W. 2000. Quantitative assessment of intravascular volume of the human Achilles tendon. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 71 (1), 60–63.
- Sternroth, L., Peltonen, J., Cronin, N., Sipilä, S. & Finni, T. 2012. Age-related differences in Achilles tendon properties and triceps surae muscle architecture in vivo. *Journal of Applied Physiology* 113 (10), 1537-1544.
- Sussmilch-Leitch, S., Collins, N., Bialocerkowski, A., Warden S. & Crossley, K. 2012. Physical therapies for Achilles tendinopathy: systematic review and meta-analysis. *Journal of Foot and Ankle Research* 5 (1), 1-27.
- Swan, A. & Mercer, S. 2005. Anatomy of the Infrapatellar Fat Pad. *New Zealand Journal of Physiotherapy* 33 (1), 19-22.
- Visentini, P., Khan, K., Cook, J., Kiss, Z., Harcourt, P. & Wark, J. 1998. The VISA score: an index of severity of symptoms in patients with jumper`s knee (patellar tendinosis). *Journal of Sports Science and Medicine* 1 (1), 22-28.
- Visnes, H. & Bahr, R. 2007. The evolution of eccentric training as treatment for patellar tendinopathy (jumper`s knee): a critical review of exercise programmes. *British Journal of Sports Medicine* 41, 217-223.
- Visnes, H., Hoksrud, A., Cook, J. & Bahr, R. 2005. No effect of eccentric training on jumper`s knee in volleyball players during the competitive season: a randomized clinical trial. *Clinical Journal of Sports Medicine* 15, 227–234.
- Vos, R., Weir, A., Visser, R., Winter, T. & Tol, J. 2007. The additional value of a night splint to eccentric exercises in chronic midportion Achilles tendinopathy: a randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine* 41 (5).
- Wasielowski, N. & Kotsko, K. 2007. Does eccentric exercise reduce pain and improve strength in physically active adults with symptomatic lower extremity tendinosis? A systematic review. *Journal of Athletic Training* 42 (3), 409-421.
- Westh, E., Kongsgaard, M., Bojsen-Möller J., Aagaard P., Hansen, M., Kjaer, M. & Magnusson, S. 2008. Effect of habitual exercise on the structural and mechanical

properties of human tendon, in vivo, in men and women. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 18, 23–30.

Woodley, B., Newsham-West, R. & Baxter, G. 2007. Chronic tendinopathy: effectiveness of eccentric exercise. *British Journal of Sports Medicine* 41, 188–199.

Yang, G., Crawford, R. & Wang, J. 2004. Proliferation and collagen production of human patellar tendon fibroblasts in response to cyclic uniaxial stretching in serum-free conditions. *Journal of Biomechanics* 37 (10), 1543-1550.

Yepes, H., Tang, M., Morris, M. & Stanish, W. 2008. Relationship Between Hypovascular Zones and Patterns of Ruptures of the Quadriceps Tendon. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 90 (10), 2135-2141.

Yoon, J. & Halper, J. 2005. Tendon proteoglycans: biochemistry and function. *Journal of Musculoskeletal Neuronal Interact* 5, 22-34.

Young, M., Cook, J., Purdam, C., Kiss, Z. & Alfredson, H. 2005. Eccentric decline squat protocol offers superior results at 12 months compared with traditional eccentric protocol for patellar tendinopathy in volleyball players. *British Journal of Sports Medicine* 39, 102-105.

Öhberg, L. & Alfredson, H. 2004. Effect on neovascularisation behind the good results with eccentric training in chronic mid-portion achilles tendinosis? *Knee Surgery in Sports Traumatology, Arthroscopy* 12 (5), 465-470.

Öhberg, L., Lorentzon, R. & Alfredson, H. 2001. Neovascularisation in Achilles tendons with painful tendinosis but not in normal tendons: an ultrasonographic investigation. *Knee Surgery in Sports Traumatology, Arthroscopy* 9 (4), 233-238.

Öhberg, L., Lorentzon, R. & Alfredson, H. 2004. Eccentric training in patients with chronic Achilles tendinosis: normalised tendon structure and decreased thickness at follow up. *British Journal of Sports Medicine* 38, 8–11.

