

**UNIVERZA V LJUBLJANI
ZDRAVSTVENA FAKULTETA
FIZIOTERAPIJA 1. STOPNJA**

Nikola Šimičević

**PREDVIDENI UČINKI DELOVANJA MANUALNIH
TEHNIK ZA SPROSTITEV MIŠIČNIH FASCIJ**

Ljubljana, 2017

**UNIVERZA V LJUBLJANI
ZDRAVSTVENA FAKULTETA
FIZIOTERAPIJA 1. STOPNJA**

Nikola Šimičević

**PREDVIDENI UČINKI DELOVANJA MANUALNIH
TEHNIK ZA SPROSTITEV MIŠIČNIH FASCIJ**

pregled literature

PREDICTED EFFECTS OF MYOFASCIAL RELEASE

review of literature

Mentorica: viš. pred. mag. Sonja Hlebš, viš. fiziot., univ. dipl. org.

Recenzent: doc. dr. Alan Kacin, dipl. fiziot.

Ljubljana, 2017

ZAHVALA

Rad bi se zavalil svoji mentorici mag. Sonji Hlebš za svetovanje in pomoč, tako pri nastanku diplome kakor tudi skozi celoten študij. Zahvalil bi se tudi vsem sošolcem in prijateljem, ki so me vselej podpirali in po potrebi pomagali. Posebej bi se zahvalil Žigi Benku za izčrpno lektoriranje in pomoč pri nastanku diplomskega dela. Iskrena hvala tudi Ireni in dragima mami in očetu za vso moralno in finančno podporo pri študiju.

IZVLEČEK

Uvod: Fascija je del vezivno-tkivnega sistema. Prežema in obdaja vse telesne strukture, zaradi česar neposredno vpliva na fiziološke procese v telesu. V literaturi se pogosto navaja kot povrhnja, globoka ter z mišicami povezana fascija. Neposredni stik z različnimi strukturami in tudi njena lastnost prilagajanja zunanjim vplivom ima vpliv na biomehaniko struktur povezanih z gibanjem. **Namen:** Namen diplomskega dela je na podlagi pregleda in analize slovenske in tuje strokovne literature opisati učinke delovanja manualnih terapevtskih postopkov pri obravnavi fascialnih tkiv. **Metode dela:** Iskanje literature s pomočjo spletnih podatkovnih zbirk: MEDLINE, Cochrane library, CINAHL in PEDro. V ročni pregled literature so bile vključene knjige in revije s področja manualnih tehnik za sprostitve mišičnih fascij. Pri pregledu izdaje člankov ni bilo časovnih omejitev glede leta izdaje. **Rezultati:** Fascija je v naravi koloidna snov, s plastičnimi, elastičnimi, viskoelastičnimi in piezoelektričnimi lastnostmi. Fibroblasti predstavljajo osnovo fascialnega sistema in prek fokalnih stikov tvorijo neprekinjeno mehansko-občutljivo signalno omrežje skozi telo. Manualni pritisk na tkivo ustvarja zaporedje bioloških in kemičnih dogodkov. Različni diagnostični postopki dokazujejo prisotnost prostih živčnih končičev in inkapsuliranih receptorjev skozi celotno fascijo telesa. Predvideni učinek sprostitve mišičnih fascij se torej izraža skozi kombinacijo nevroloških, mišičnih ter fizioloških odzivov v telesu. **Razprava in sklep:** Različni manualni terapevtski postopki so usmerjeni v odpravljanje okvar, povezanih s fascialnim sistemom. Razlago za strukturne in napetostne spremembe v fasciji po sprostitvi mišičnih fascij najdemo v dinamičnih spremembah obravnavanega vezivnega tkiva in živčno-mišičnega sistema. Počasen in dolgotrajen terapevtski pritisk prek različnih fizikalnih mehanizmov spreminja lastnosti ter kvaliteto vezivno-tkivnih struktur, s čimer neposredno vpliva na kvaliteto gibanja in zmanjšanje bolečine.

Ključne besede: fascija, anatomija fascije, manualna terapija, fiziologija fascije, sprostitve mišičnih fascij, vezivno tkivo.

ABSTRACT

Introduction: Fascia, as part of connective tissue system surrounds and permeates all structures of the body, thus directly effects all physiological processes in the human body. Literature describes superficial fascia, deep fascia and fascia connected with the muscle tissue. The interactions with different structures and its ability to adjust to outer influences, affect the biomechanics of structures related to movement. **Purpose:** To overview and critically analyze Slovenian and foreign literature and describe effects of manual therapeutic approaches in treatment of fascial tissues. **Methods:** The research was conducted on MEDLINE, Cochrane library, CINAHL and PEDro. Different books and journals regarding manual myofascial release were also included in the research. There were no time restrictions in reviewing the published literature. **Results:** Fascia is a colloid substance with plastic, elastic, viscoelastic and piezoelectric properties. Fibroblast form the basis of fascial system and through focal adhesions form a continuous mechanically sensitive network throughout the body. Manual pressure on the tissue generates a sequence of biological and chemical events. Different diagnostic procedures prove the presence of free nerve endings in encapsulated receptors throughout the whole fascial system. Predicted effects of myofascial release are thus expressed through a combination of neurological, muscular and physiological responses in the body. **Discussion and Conclusion:** Different manual therapeutic approaches are focused on eliminating impairments related to fascial system. Explanation for structural and tensional alterations in the fascia after myofascial release is found in dynamic changes of treated connective and neuro-muscular system. A slow and prolonged therapeutic pressure modifies characteristics and quality of connective tissue structures through different physical mechanisms, thus directly influencing movement quality and pain.

Keywords: fascia, fascial anatomy, myofascial release, fascial physiology, manual therapy, fascial treatment, connective tissue.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD.....	1
1.1 Vloga fascije v telesu.....	1
1.2 Zgradbe fascije.....	2
1.3 Oživčenost fascije.....	3
1.4 Neravnovesje fascialnega sistema.....	4
1.5 Manualne tehnike za sprostitvev mišičnih fascij.....	4
2 NAMEN.....	7
3 METODE DELA.....	8
4 REZULTATI IN RAZPRAVA.....	9
4.1 Fibroblasti – temelj fascialnega sistema.....	9
4.2 Piezoelektričnost.....	13
4.3 Regulacija pritiska in pretoka tekočin, ki tečejo skozi fascijo.....	15
4.4 Viskoelastičnost.....	17
4.5 Inervacija in nevrofiziološke spremembe v fasciji.....	19
5 SKLEP.....	23
6 LITERATURA.....	24

1 UVOD

V zgodovini je bila fascija obravnavana kot inertna struktura s pasivno vlogo oblazinjenja okoliških struktur na različnih globinah v telesu in zagotavljanja narastišč mišicam. Na splošno se obravnava kot manj pomembna od tkiv, s katerimi je v interakciji (Benjamin, 2009). V današnjem času je vse več dokazov, da je to tkivo zelo aktivno in temeljno za telesno ravnovesje ter za zdravje, čeprav so njegove različne fiziološke in funkcijske vloge še vedno slabo razumljive v njihovi kompleksnosti (Tozzi, 2012). Fascija je mehko-tkivna komponenta vezivno-tkivnega sistema, ki prežema človeško telo in ustvarja neprekinjen 3-dimenzionalni matriks strukturne opore (Findley et al., 2012). Skoraj neločljiva je od vseh struktur v telesu, ustvarja kontinuiteto med posameznimi tkivi za izboljšanje delovanja in opore, zaradi česar njene plasti težko ločujemo in poimenujemo (Kumka, Bonar, 2012). Viskoelastični matriks obdaja, podpira, ščiti, povezuje in razdvaja mišične, skeletne in visceralne strukture organizma (Tozzi, 2015a).

1.1 Vloga fascije v telesu

Poznane so mnoge različne fiziološke in funkcijske vloge fascije, kot so vpliv na stabilnost sklepov in koordinacijo gibanja, propiocepcijo, nocicepcijo (Tozzi, 2012) ter prenos mehaničnih sil (Huijing, 2009). Sodeluje tudi pri celjenju ran ter regeneraciji tkiv, povezujejo jo tudi z različnimi vezivno-tkivnimi okvarami, kot je Dupuytrenova kontraktura, in s posledicami po operativnih adhezij (Gabbiani, 2003). Široka definicija fascije nam omogoča, da gledamo na fascialna tkiva kot na med seboj povezano mrežo, ki prilagaja dolžino, usmeritev in gostoto vlaken glede na lokalne napetostne zahteve v različnih delih tkiv (Findley, Shalwala, 2013). Fascija in mišice delujejo kot vzmet in omogočajo pokončno držo (Findley et al., 2012). Vezivno tkivo ima velik vpliv na dinamične lastnosti telesa, pri čemer je gibanje odvisno od funkcionalnosti in razporejenosti vezivnega tkiva (Findley, 2011). Pomembno regulativno vlogo ima fascija pri prenosu mehanskih sil, pri čemer prek stranskih navzkrižnih povezav prenaša obremenitve, blaži pritiske in ojačuje gibanje (Klingler et al., 2014). Kontinuiteta fascialnega sistema je vitalnega pomena za vse organe, s katerimi je v stiku in ki jih obdaja, ker jim poleg metaboličnih in hormonskih odzivov zagotavlja tudi pravilno delovanje. Nadaljnja pomembna vloga fascialnega sistema je upravljanje s tekočinami, kot sta limfa in kri. Fascija namreč skupaj z mišicami spodbuja

pretok limfe in krvi proti ustreznim tkivom. Ta aktivnost je pripisana prirojeni kontraktilni lastnosti fascije ter različnim tlačnim gradientom, ki se ustvarjajo v različnih plasteh fascij in omogočajo pretok tekočin (Bordoni, Zanier, 2014).

Vezivno tkivo je skozi celotno telo neprekinjeno, fascija ima mehanično vlogo, fibroblasti pa prek presledkovnih stikov (angl. gap junction) komunicirajo med seboj; iz naštetih dejstev je razvidno, da ima fascija tudi vlogo mehano-občutljivega signalnega sistema, ki je funkcijsko analogen živčnemu sistemu (Benjamin, 2009). Številni dokazi potrjujejo pomembno integrativno vlogo fascije kot organa propriocepcije, ki pomaga v koordinaciji pri različnih mišičnih aktivnostih, kjer v vlogi skupnega eksoskeleta zagotavlja veliko stično površino za narastišča mišic (Benjamin, 2009). Nekateri avtorji menijo, da je fascija »del« organov in struktur, bolj kot le del vezivno-tkivnega sistema, ki združuje in integrira različne telesne regije. Poimenovanje in raziskovanje fascije ločeno od celega sistema je sodeč po nekaterih avtorjih pregrada za razumevanje širše slike funkcije fascije (Findley, Shalwala, 2013). Medicinska literatura ne priporoča ene definicije fascije, ker se skozi telo razlikuje v debelosti, funkciji, sestavi in orientaciji vlaken, odvisno od področja, v katerem se nahaja (Bordoni, Zanier, 2014).

1.2 Zgradbe fascije

Z embriološkega vidika fascialni sistem nastaja iz mezoderma. Najbolj povrhnja plast se imenuje ohlapno vezivno tkivo ali subkutanealna fascija in je zgrajena iz več plasti. Vsaka plast ima različno količino neurejenih fibroblastov, ki plavajo v želatinozni snovi, ki jo poznamo kot zunajcelični matriks (v nadaljevanju ZCM). V njem lahko najdemo različne molekule, kot so glikosaminglikani, proteoglikani in hialuronska kislina (Bordoni, Zanier, 2014). Mišično fascijo sestavljajo tri strukture: povrhnja fascija, globoka fascija ter z mišicami povezane plasti (epimizij, perimizij in endomizij) (Klingler et al., 2014). Povrhnjo fascijo tvorijo ohlapno prepletana kolagenska vlakna, ki skupaj povezuje obilico elastičnih vlaken. Prisotna je po celotnem telesu, njeni urejenost in debelina pa sta, kot pišejo Abu-Hijleh in sodelavci (2006), odvisni od dela in površine telesa ter spola. Debelejša je na spodnjih kot na zgornjih udih, na posteriorni kot na anteriorni strani telesa ter pri ženskah. Makroskopsko je povrhnja fascija dobro organizirano, delno ohlapno, delno membranozno fibroelastično tkivo, ki ga z izjemo na licu, podplatih in dlaneh lahko najdemo povsod v telesu. Mikroskopsko je njena struktura opisana kot večlamelarna ali kot gosto satje.

Povrhnja fascija je tesno povezana s povrhnjimi venami in limfnimi žilami. V povrhnji fasciji najdemo subkutanični plexus, ki ima termoregulativno funkcijo. Povrhnja fascija je bogata z vodo, urejeno v tekoče kristale (Stecco et al., 2016). Deluje kot mehanska in termalna zaščita ter omogoča drsenje kože nad globoko fascijo. Drsenje kože prikriva napetosti, ki so prisotne v globoki fasciji. Z globoko fascijo se združita v retinaklih zapestij in gležnjev (Stecco, 2004). Globoka fascija je zadnja vezivna plast pred somatskimi strukturami (mišice in kosti) ter visceralnim in žilnim sistemom (Bordoni, Zanier, 2014). Izraz globoka fascija se nanaša na vse dobro urejene, goste, fibrozne plasti, ki obdajajo mišice, kosti, živce in krvne žile ter povezujejo vse strukture skupaj v čvrsto neprekinjeno maso (Stecco et al., 2016). Za globoko fascijo, ki je v primerjavi s povrhnjo manj raztegljiva, je značilno več plasti paralelnih kolagenskih vlaken, ki so medsebojno ločene s plastjo ohlapnega vezivnega tkiva. Med plastmi najdemo veliko hialuronske kisline, ki omogoča pravilno in neomejeno drsenje na vseh nivojih (Bordoni, Zanier, 2014).

1.3 Oživčenost fascije

Novejše raziskave in sodobnejše diagnostični postopki odkrivajo bogato oživčene fascialne plasti znotraj vezivno-tkivnega sistema. Glede na področje telesa, kjer se nahajajo, ter njihovo obliko, strokovnjaki predvidevajo njihovo vlogo. Kapsule telesc in prosti živčni končiči (mehanoreceptorji) so tesno povezani s kolagenskimi vlakni in fibroznim ogrodjem, ki tvorita fascijo. Deising in sodelavci (2012) so dokazali prisotnost gosto urejenih prostih živčnih končičev in inkapsularnih mehanoreceptorjev v fasciji. Stecco in sodelavci (2007) so skladno s tem dokazali prisotnost avtonomnih živčnih vlaken v globoki fasciji. Tesarz in sodelavci (2011) podobno temu potrjujejo bogato senzorno oživčeno torakolumbalno fascijo. Iz tega razloga avtorji trdijo, da lahko obstaja povezava med notranjo okvaro v drsenju torakolumbalne fascije in nespecifično bolečino v križu (Stecco et al., 2016). Zunajcelični matriks je pojmovan kot amorfná opora, ki zagotavlja dolgotrajnejšo mehanično oporo. Novejši vidiki odkrivajo, da je matriks zelo dinamična struktura, ki vpliva na mehanične in viskoelastične lastnosti, pri čemer zmanjšuje dovzetnost proti stresu in lahko poviša prag obremenitve. Zunajcelični matriks skeletnih mišic je zgrajen iz nekolagenskih glikoproteinov in ojačan z bolj togimi proteini. Z izgradnjo supramolekularnega omrežja ta matriks lahko prenaša kontraktilne obremenitve mišic z ohranjanjem integritete tkiva (Klingler et al., 2014).

1.4 Neravnovesje fascialnega sistema

Fascialna omejitev je opisana kot kakršnakoli ovira v optimalnem drsenju na mikroskopskem ali makroskopskem organizacijskem nivoju, med endofascialnimi vlakni in interfascialnimi plastmi. Takšna omejitev potem lahko povzroča nenavadne napetosti v telesu ali težave pri gibanju (Schleip, 2012). Povečana napetost fascialnega sistema je histološki, fiziološki in biomehanski protektivni mehanizem kot odgovor na okvaro. Fascija izgubi podajnost, postane omejena in povzroča napetosti v preostalih delih telesa. Osnovna substanca otrdi, kolagen postane gost in fibrozen, elastin pa izgubi odpornost na razteg. Čez čas to lahko privede do slabe mišične biomehanike, spremenjene strukturne poravnave ter slabše vzdržljivosti in motorične koordinacije. Odgovor vezivnega tkiva na okvaro je združen s prilagoditvenim odgovorom morfološkega in živčno-mišičnega sistema, ki je klinično definiran kot bolečina in motena funkcija. Tudi žilne in živčne strukture lahko ostanejo ujete v takih omejitvah in posledično povzročajo ishemične ali nevrološke simptome (Barnes, 1997). Fascijo tradicionalno povezujejo z različnimi bolečimi nepravilnostmi, kot so: plantarni fasciitis, kompartment sindrom ob naporu, bolečina v križu, miofascialne prožilne točke, fibromialgija (Kwong, Finley, 2014). Opazovana povečana koncentracija miofibroblastov v okvarjeni fasciji je po nekaterih avtorjih lahko vzrok tkivnih kontraktur, ki se v klinični siki kažejo kot palmarna fascialna fibromatoza (Dupuytrenova bolezen), plantarna fascialna fibromatoza (Ledderhoseova bolezen) in adhezivni kapsulitis (zmrznjena rama). Omeniti je smiselno tudi dovzetnost fascije do vnetnih celic, katerih prisotnost vpliva na komunikacijo, rast in funkcijo fascialnega sistema (Kumka, Bonar, 2012).

1.5 Manualne tehnike za sprostitvev mišičnih fascij

Obstajajo različni koncepti in postopki manualne obravnave različnih omejitev fascialnega sistema, z različnimi poimenovanji za opis podobnih terapevtskih pristopov. Pri večini postopkov so konceptualni temelji podobni (Schleip, 2012). Sprostitev mišičnih fascij (v nadaljevanju SMF) je mehkotkivna tehnika, pri kateri terapevt facilitira razteg skrajšane fascije. Manheim (2001) jo je definiriral kot spodbuditev mehničnega, nevrološkega in psihofiziološkega prilagoditvenega potenciala prek miofascialnega sistema. SMF predstavlja znano manualno tehniko specifično za fascialna tkiva, uporabljeno z namenom

zmanjšanja adhezij, povrnitvi in/ali urejanju drsne gibljivosti tako v akutni kot v kronični fazi. Nekatere študije so pokazale učinkovitost SMF pri zmanjševanju bolečine (Fernandez de las Penas et al., 2005) ter izboljšanju drže (LeBauer et al., 2008) in kvalitete življenja (Radjeski et al., 1998). Izvedba tehnike vključuje nežen, dolgo trajajoč manualni razteg v smeri fascialne omejitve. Terapevt palpira omejitve in izvaja pritisk neposredno na kožo v smeri omejitve, dokler ne začuti upora – tkivne bariere. Ustvarja pritisk na bariero, ki traja od 90 do 120 sekund, brez da bi se pomikal po koži ali povečeval pritisk, dokler ne začuti sprostitve. Terapevt sledi sprostitvi do nove bariere in ponovno ustvarja pritisk. Po nekaj sprostitvah tkivo postane mehkejše in bolj podajno. Obnova dolžine fascialnega tkiva zmanjša pritisk z občutljivih struktur, kot so živci in krvne žile, prav tako pa tudi izboljša gibljivost in drsenje znotraj sklepov (Barnes, 1997).

1.6 Predvideni učinki delovanja manualnih tehnik

Pri manualni obravnavi fascij avtorji navajajo, da se lahko z uporabo manualnega pritiska spremenijo gostota, tonus, viskoznost ali urejenost fascij (Barnes, 1990; Cantu in Grodin, 1992; Chaitow, 1980; Rolf, 1977; Ward, 1993). Njihove teoretične razlage se običajno nanašajo na sposobnost fascije, da se prilagodi mehanskemu stresu, ki je v tem primeru manualni pritisk (Schleip, 2003). Najnovejše raziskave odkrivajo, da lahko z manualno sprostitvijo okoliškega tkiva neposredno vplivamo na mišično zmogljivost, najverjetneje s prerazporeditvijo napetosti fascialne mreže (Tozzi, 2012).

Veliko današnjih pristopov, usmerjenih v terapijo miofascialnih tkiv, temelji na delu Ide Rolf (1977). Pri svojem delu je z aplikacijo zmerne pritiska s komolcem ali z roko spreminjala gostoto in urejenost fascialnih plasti. To je razlagala na način, da je vezivno tkivo koloidna snov, pri kateri lahko osnovna substanca z dovajanjem energije (toplotne ali mehanske) spremeni agregatno stanje iz bolj gostega, gel, v bolj tekoče, sol, stanje. Preoblikovanje iz gel v sol stanje, znano tudi kot tiksotropija, je bila dokazana kot rezultat dolgotrajne aplikacije mehničnega stresa na vezivno tkivo (Schleip, 2003). Piezoelektričnost je lastnost, povezana z vrsto bioloških struktur, kot so kosti, proteini ter nukleinske kisline. Temelji na elektromehaničnem procesu, pri katerem se mehanska sila kot posledica stresne polarizacije spremeni v električni naboj in obratno. S pomočjo elektromehanske transdukcije lahko

kolagenske celice v vezivnem tkivu izmenjujejo fizikalne informacije od makroskopske do celične ravni, direktno ali prek biokemičnih procesov. Električni potenciali nastajajo v ZCM kot posledica mehanske deformacije, kar bi lahko bil vzrok za modulatorni mehanizem celičnega odziva poleg ostalih biokemičnih in mehaničnih poti (Tozzi, 2014). Veliko celičnih mehanizmov je lahko vključenih v doseganje končnega občutka fascialne sprostitve pri manualnem delu. Tozzi (2015a) navaja, kako fibroblasti *in vitro* in *in vivo* dokazujejo skoraj takojšnji odgovor na trakcijo, pritisk in raztezne sile, čemur sledi niz sprememb v kemičnih signalnih poteh in aktivaciji gena, sproščanju ATP-ja, polimerizaciji aktina ter tudi različnem signaliziranju po kalcijevih kanalih. Kot piše Stanborough (2004), fascija reagira na mehansko obremenitev pri terapiji na tri načine: osnovna substanca spreminja volumen in konsistenco, tako pride do natrganja navzkrižnih povezav med kolagenskimi vlakni ter povečanja razdalje med njimi, s čimer se zmanjša njihova medsebojna afiniteta in poveča podajnost tkiva. Schleip (2003) predstavlja celovito razlago nevrobiologije fascije in predvidenega mehanizma delovanja SMF. Po njegovi teoriji sta fascija in avtonomni živčni sistem tesno povezana. Fascija je gosto preprejena z mehanoreceptorji občutljivi na manualni pritisk. Pritisk na fascijo stimulira intarafascialne mehanoreceptorje, katerih dražljaji so potem procesirani v osrednjem in avtonomnem živčnem sistemu. Odgovor osrednjega živčnega sistema lahko spremeni tonus nekaterih prečno-progastih mišic. Med odgovor avtonomnega sistema sodijo sprememba systemskega mišičnega tonusa, sprememba v vazodilataciji in viskoznosti tkiva ter zmanjšan tonus intrafascialnih gladkomišičnih celic. V primeru počasnega globokega pritiska so vzdraženi mehanoreceptorji najverjetneje počasi adaptirajoči Ruffinijevi končiči ter nekateri intersticijski receptorji. Vključeni so lahko tudi drugi receptorji, kot so mišična vretena v okolnih mišičnih vlaknih in intrafascialni Golgijevi receptorji. Indirektna stimulacija avtonomnega živčnega sistema lahko povzroči sistemsko relaksacijo mišic in mirnejše stanje uma, ki so značilni za mnoge manualne terapevtske pristope.

2 NAMEN

Namen diplomskega dela je, na podlagi pregleda in analize slovenske in tuje strokovne literature opisati predvidene učinke delovanja manualnih tehnik za sprostitev mišičnih fascij.

3 METODE DE LA

Iskanje literature prek spleta je potekalo s pomočjo naslednjih podatkovnih baz: CINAHL, Cochrane library, MEDLINE in PEDro. V ročni pregled literature so bile vključene knjige in revije s področja manualnih tehnik za sprostitve mišičnih fascij. Pri pregledu izdaje člankov ni bilo časovnih omejitev. Za iskanje smo uporabili ključne besede v angleškem jeziku: fascia, fascial anatomy, myofascial release, fascial physiology, manual therapy, fascial treatment, connective tissue; in v slovenskem jeziku: fascija, anatomija fascije, manualna terapija, fiziologija fascije, sprostitve mišičnih fascij, vezivno tkivo. Na podlagi izvlečka ali uvoda posameznega članka se je odločalo o relevantnosti in primernosti članka za vključitev v analizo. Članke, ki smo jih dobili iz citatov posameznih člankov, smo vključili v analizo, če so le-ti bili pomembni za namen proučevane teme.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Fascija obdaja vsako mišico in vsako vlakno znotraj mišice, prav tako ovija vsak organ v telesu in tvori visceralno fascijo. Urejena v plasti, ki medsebojno drsijo, ustvarja neprekinjene poti in povezuje mišice, kosti in živčevje v en sistem. Posebnost fascialne neprekinjenosti najdemo v njeni zgradbi, ki zaradi različne medsebojne odvisnosti med različnimi strukturami omogoča telesu zdravje in integriteto (Bordoni, Zanier, 2015). Stecco (2004) opisuje fascijo kot edino tkivo, ki svojo zgradbo lahko pod vplivom stresa spremeni (plastičnost) in je sposobno pod vplivom manipulacije (deformacije) povrniti svojo elastičnost.

Pri svojem delu želijo manualni terapevti vplivati na kvalitete fascij, upoštevajoč način, kako se odziva napetost ali pritisk. S spreminjanjem lastnosti mehko-tkivnih struktur želijo izboljšati kvaliteto gibanja in zmanjšati bolečino. Kot pravijo Klingler in sodelavci (2014), lahko manualne miofascijalne terapije skupaj z različnimi gibalnimi tehnikami, usmerjenimi v fascialna tkiva, pomagajo v procesu izboljšanja remodelacije matriksa. Večina manualnih terapevtskih postopkov se osredotoča na usmerjen razteg v eni smeri. Novejše raziskave so pokazale, da dodatne rotacije in sukanja izboljšajo učinkovitost takšnih linearnih manualnih tehnik (Findley et al., 2011). Nadalje, manualne obremenitve pri obravnavi lahko izzovejo fiziološke spremembe prek aktivacije fibroblastov in različnih receptorjev prisotnih v fascialnem tkivu, kar vodi v izboljšavo fascialne hipertoničnosti in/ali nepravilnih kolagenskih navzkrižnih povezav (Tozzi, 2014). Teorija pravi, da spremembe v napetosti in strukturi tkiva po sprostitvi mišičnih fascij izvirajo iz dinamičnih sprememb v vezivnem tkivu in živčno-mišičnemu sistemu telesa. Ta dva sistema sta medsebojno povezana v funkciji in v odgovoru na terapijo, na celičnem, sistemskem in somatskem nivoju. Vezivno tkivo je v naravi koloidna snov, s plastičnim, elastičnim, viskoelastičnim in piezoelektričnimi lastnostmi. Njegovo morfološko stanje je definirano z razmerjem vložene energije in temperature. Namen SMF je podaljšava in mehčanje vezivnega tkiva ter zagotavljanje trajne 3-dimenzionalne dolžine in širine (Barnes, 1997).

4.1 Fibroblasti – temelj fascialnega sistema

Fibroblasti predstavljajo temelj fascialnega sistema, enoto vezivnega tkiva, ki prekriva in vpliva na vsak del telesa. Imajo številne lastnosti, vključujoč možnost kontrakcije in

komunikacije med seboj. Igrajo glavno vlogo pri prenosu mišičnih sil in dinamiki intersticijskih tekočin (Bordoni, Zanier, 2014). So zelo prilagodljivi na okolje in s tvorbo različnih biokemičnih odgovorov kažejo sposobnost remodelacije kot odgovor na različne mehanske dražljaje (Kumka, Bonar, 2012). Poznavanje njihove fiziologije in odziva je bistvenega pomena za vse mehko-tkivne manualne tehnike, ki omogočajo razumevanje ozadja in naravo pacientovih težav (Bordoni, Zanier, 2014).

Fibroblasti so ključni v proizvodnji tropokolagena, podenote kolagena, ki z združevanjem v večje agregate tvori kolagenska vlakna. Kolagen, trojni-helix glikoprotein, je ključno strukturno vlakno, ki vezivnemu tkivu daje možnost upreti se napetosti. Kolagen ustvarja upor napetosti in raztegu, ki sta pogosti v fascialnih strukturah, kot so ligamenti, kite, aponevroze, mišične fascije ter plasti globoke fascije. Kombinacije različnih tipov kolagena v ZCM tvorijo edinstveno obliko, ki kot načrt odraža funkcijo in podajnost fascije v različnih segmentih. Verjetno je, da brez značilne urejenosti vlaken in sestave za vsako posamezno fascialno regijo fascija ne bi prenesla obremenitve. Relativna neodvisnost med plastmi kolagena omogoča drsenje in razteg kože, koži pa omogoča, da obdrži izvorno obliko, pri čemer nadaljnji razteg kože omogoča le preureditev kolagenskih vlaken znotraj lamel (Benjamin, 2009). V fasciji poleg fibrocitov najdemo še adipocite in različne migrirajoče bele krvne celice (Kumka, Bonar, 2012).

Pritisk terapevta pri manualni obravnavi fascialnih tkiv stimulira fascijo v njenih različnih oblikah in na različnih globinah. Takoj ko se na površini kože ustvari pritisk, se v različnih plasteh mehanoreceptorji vzdražijo, čemur sledi kompleks fizioloških in nevroloških odzivov, lokalnih kot tudi sistemskih (Simmonds et al., 2010). Fibroblasti imajo temeljno vlogo v prevajanju napetosti in so sposobni dinamično vplivati na mehansko napetost s hitrim spreminjanjem strukture citoskeleta. Sprememba lahko nastopi v nekaj trenutkih, in sicer kot posledica spremembe v dolžini fascije. Ko se fascialno tkivo podaljšuje, se fibroblasti sploščijo in razširijo, s čimer povečajo področje delovanja. Ta fenomen se pojavlja predvsem v ohlapnih vezivnih tkivih in preprečuje nepotrebne raztege debelejših in globljih plasti. Citoskelet fibroblastov je izgrajen iz mikrotubulov, predvsem aktinskih in vmesnih filamentov. Specifična fleksibilnost aktina omogoča hitrejšo prilagoditev fibroblastov, kot odgovor na napetostne razlike (Bordoni, Zanier, 2014).

Terapevtski razteg, uporabljen pri manualnih terapijah, celice zaznajo prek sprememb v prevodnosti membrane za ione ter mehano-občutljivih kalcijevih kanalčkov, katerih

aktivacija je odvisna od intaktnega aktinskega citoskeleta. Strukturno ogrodje na celičnem nivoju omogoča prenos sil znotraj celice in na ta način povzroča takojšnji odgovor in spremembe v jedru in citoplazmi. Poleg frekvence, velikosti in trajanja raztega naj bi smer raztega diferencialno reguliral rast fibroblastov in miofibroblastov, prevodnost ionov in izražanje genov (Tozzi, 2012).

Benjamin in sodelavci (2008) so opazovali morfološke spremembe v kitah in ligamentih kot odgovor na biomehanski stres. Ugotovili so, da sta struktura in molekularna sestava ZCM v neposrednem odnosu z lokalnimi mehničnimi silami. Vsaka sprememba v obliki celice kot posledica napetosti ustvarja niz metabolnih odgovorov, ki odražajo naravo, smer in trajanje napetosti. Ta mehanizem je poznan tudi kot mehanotransdukcija (Bordoni, Zanier, 2014). Langevin in sodelavci (2013) navajajo, da lahko fibroblasti v odgovor na podaljšane spremembe modulirajo to napetost z remodelacijo svojega citoskeleta in spreminjanjem kontraktilnega sistema. V nekaj minutah lahko preuredijo povezave z matriksom v smeri raztega tkiva ali podaljšajo mrežo mikrotubulov in aktivirajo kontraktilne elemente z namenom ohranjanja napetostne homeostaze prek nasprotno enake napetosti. Poudariti je treba, da se mehanski dražljaji skozi vezivne strukture v primerjavi s kemičnimi prenašajo hitreje (valovanje je hitreje od difuzije). Raziskave so pokazale, da mehanska obremenitev integrinskega receptorja na površini rezultira s skoraj takojšnjim spremembami v molekularni strukturi globoko v citoplazmi in jedru celic. Te spremembe posledično aktivirajo signalne dogodke v oddaljenih mestih, skoraj enako hitro, kot se to zgodi na površini (Ingber, 2008). Enotnost fascialnega sistema dejansko lahko predstavlja popolno telesno signalno omrežje, ki je odvisno od odnosa celic in okolnega matriksa (Langevin, 2006).

Kumka in sodelavci (2012) s pojmom mehanotransdukcije opisujejo značilne celične spremembe, ki se zgodijo kot odgovor na napetost in kompresijo. Dražljaji se med celicami prenašajo prek filamentov ZCM-a, na ta način mehnični stimulaciji sledi zaporedje dogodkov, ki spremeni aktivnost jedra celic. Mehanotransdukcija je ustvarjena, ko celice konvergirajo različne mehnične dražljaje, prevajane po ZCM, v kemično aktivnost, ki regulira morfologijo in funkcijo tkiv. Celični odgovori vključujejo sprostitvev interleukinov, stičnih kinaz in drugih biokemikalij. Nefiziološko mehansko stanje lahko vpliva na aktivno-pasivni odnos, kar zmanjša lastnost fibroblastov, da se prilagodijo in pravilno delujejo (Bordoni, Zanier, 2014). Po eni strani celice sintetizirajo, izločajo urejajo in razgrajujejo sestavine ZCM-ja, po drugi pa mehanske lastnosti ZCM vplivajo na citoskeletno

organizacijo in odziv (obnašanje) celic (Chiquet et al., 2009). Rast, diferenciacija, metabolizem, kontraktilnost, proliferacija in apoptoza celic so pod vplivom napetosti, ki se iz ZCM prek fokalnih stikov prenaša do celic, od tam pa prek povezovalnih kompleksov iz citoskeleta do jedra celic (Goldmann, 2014). Fibroblast lahko diferencira v miofibroblast z raztegom in nekaterimi biokemični signali, kot je transformirajoči rastni faktor beta -1. V miofibroblastu se nahaja več alfa gladko-mišičnega aktina in ima fenotip s povečano kontraktilno močjo (Kwong, Finley, 2014).

Schleip in sodelavci (2005) opisujejo lastnost fascije, da se kontrahira na način, ki je podoben gladkem mišičju, neodvisno od aktivnosti mišično-kostnega sistema. Njihova opažanja temeljijo na prisotnosti celic gladkega mišičja v fasciji in sposobnosti miofibroblastov, da se kontrahirajo, kar omogoča medcelični alfa gladko-mišični aktin (α -GMA). Kaže, da je sposobnost izražanja takšnih kontraktilnih proteinov pogosta med različnimi celicami vezivnega tkiva, kot so osteoblasti in hondrociti. Na kontraktilnost in odziv miofibroblastov močno vplivajo: koncentracija kisika v tkivih, vazoaktivni peptidi, avtonomna aktivnost, pro-vnetni citokini in okolna mehanska napetost (Porter, Turner, 2009). Neodvisno od mesta, kjer so nastali, so miofibroblasti sposobni dolgotrajnih izometričnih kontrakcij (Hinz, Gabbiani, 2003), ki se prek fokalnih stikov in stresnih vlaken prenašajo na okolni matriks. Predvideva se, da se sila, ustvarjena s facialno kontrakcijo, lahko prenese na medmišično vezivno tkivo, z namenom prilagoditve mišične togosti na spremembe napetostnih zahtev (Schleip et al., 2006). Posledično to najverjetneje prek lokalne redistribucije mehanične sile in segmentalnega nevrološkega vpliva na somatske motorične nevrone vpliva na skupni mišični tonus v mirovanju in mišično-kostno dinamiko (Schleip et al., 2005). Okvare tega sistema povzročajo lahko lokalne ali sistemske okvare, kot so: spremenjen mišični tonus, zmanjšano živčno-mišično koordinacijo, mišično-kostne okvare in bolečinske sindrome. Boleče mišične skrajšave in sistemske okvare, kot so spastičnost po možganski kapi, živčnomišične bolezni, ter avtoimunske bolezni, kot je revmatoidni artritis, so primeri takih okvar. Povečana togost fascije je tudi dokazana pri raznih skrajšavah, pri katerih je izmerjena povišana koncentracija miofibroblastov pogosto povezana s trenutnim ali prebolelim vnetnim procesom. Skladno s tem Tozzi (2015) razlaga, kako neregulirana aktivnost miofibroblastov lahko povzroči fibrozo in kronične sistemske bolezni. Ta obolenja so pogosto povezana z omejitvami gibanja in bolečino v miofasciji, ki je bila posledica tvorbe čvrstega kolagenskega tkiva znotraj fascialnih plasti vključenih v prenose sil. Zmanjšana togost tkiv je tudi lahko vzrok za bolečine mehkoaktivnih struktur. Ena izmed najbolj

pogostih okvar je hiper mobilnost sklepov, v povezavi s simptomi opisana kot sindrom hiper mobilnosti (Klingler et al., 2014).

Literatura opisuje, da je v večini primerov kroničnih mišično-kostnih obolenj sprememba v debelini globoke fascije povezana s povečanjem količine ohlapnega vezivnega tkiva, ki leži med »gostimi« kolagenskimi plastmi vlaken, brez povečanja samih plasti kolagenskih vlaken. Ta proces zgostitve fascije lahko razloži funkcijsko zmanjšanje drsnega potenciala med opazovano fascialno plastjo in pripadajočimi strukturami, kar je tudi bilo opaženo tudi pri pacientih z nespecifično bolečino v vratu in ledvenem delu hrbtenice. Kronične bolezni lahko posledično privedejo do fibroze in adhezije tkiv. Za slednji stanji je bilo dokazano, da potencialno lahko povzročajo bolečino v distalnih strukturah, kot je miofascialna bolečina v okolnih tkivih (Tozzi, 2015).

V primeru zvina sklepa ali prevelikega mehničnega stresa na kolagenska vlakna znani fiziološki odgovori vključujejo: mehanotransdukcijo fibroblastov in modulacijo izražanja genskih vzorcev, skupaj z vnetjem in procesom tkivne remodelacije kolagenskega matriksa (Tozzi, 2014). V času terapije terapevt lahko začuti odgovor tkiva, ki se opisuje kot »upor« raztegu. Zanimivo je, da lahko mehanska obremenitev fascije preko zgoraj navedenih mehanizmov lahko povzroči modulacijo miofascialne kontrakcije (Tozzi, 2015). Spontane kontrakcije fascije razlagajo z obstojem intrinzične napetosti v kolagenskem ogrodju, pri čemer dodatno zunanje breme s spremembo napetostnega ravnovesja in raztega fascije povzroči kontrakcijo miofibroblastov.

4.2 Piezoelektričnost

Kot že prej omenjeno, odgovor miofascialnega sistema na terapevtski pritisk ni omejen le na lokalni del obravnavanega področja, temveč se prenaša tudi na segmente, ki so z obravnavanim področjem povezani. Ta pojav pojasni lastnost električne in/ali mehnične odzivnosti miofascialnih struktur, brez neposrednega stika z obravnavanim področjem (Klingler et al., 2014). Prenašanje električne aktivnosti je, kot navaja Benjamin (2009), značilnost fascije, ki bi lahko vplivala na izraženost gibanja. Kolagenski proteini *in vitro* imajo pol-prevodne, piezoelektrične in fotoprevodne lastnosti, zaradi česar se predvideva, da fascialni kontineum ustvarja in prevaja električno aktivnost po ZCM. Električna prevodnost, kot pravi avtor, je najverjetneje pod vplivom toplote, mehanskega stresa in

svetlobe. V primerjavi z ionskim potencialom lahko elektronski tokovi delujejo na veliko večje oddaljenosti. Pod vplivom zunanjih dražljajev elektronski tokovi znotraj vezivnega tkiva povzročajo fiziološke odgovore sosednjih struktur (Finley, Shalwala, 2013). Piezoelektričnost je lastnost, ki jo lahko opazujemo pri vrsti bioloških struktur, kot so kosti, proteini ali nukleinske kisline (Fukada, 1982). Piezo (gr. stisniti, pritisniti) električnost najdemo v kristalih, v katerih so električni centri nevtralnosti v notranji razporeditvi kristala začasno ločeni prek zunanjega mehanskega pritiska in se lahko majhen električni naboj loči od površine. Glede na lastnost vezivnega tkiva, da lahko prevzame obliko tekočih kristalov, pa nekateri avtorji predlagajo možnost, da so celice, ki so odgovorne za proizvodnjo in razgradnjo kolagena (fibroblasti in fibroklasti), lahko občutljive na električne naboje. Poenostavljeno povedano, zunanji pritisk ustvarja povišan električni naboj, ki posledično stimulira fibroblaste k povečani proizvodnji kolagenskih vlaken na tem področju. Poleg tega pa naj fibroklasti ne bi razgrajevali električno nabitih vlaken. Podobni procesi so že opisani pri remodelaciji kosti po zlomu, kot tudi pri celjenju ran (Schleip, 2003a). Nekateri avtorji navajajo, da so piezoelektrični učinki kot eden izmed mehanizmov, ki bi lahko pojasnili učinek SMF (Barnes, 1997; Oschman, 2009). Barnes (1997) spremembe na tkivih po SMF razlaga s faznim preurejanjem kristalov pod vplivom elektromagnetnih polj. Pri tem se z delovanjem zunanje mehanske sile spremeni električni naboj kolagena in proteoglikanov v ZCM, kar vpliva na ionsko sestavo osnovne substance. Avtor naprej opisuje idealno primernost mreže molekul vode in proteoglikanov za prenos in shranbo informacij pri temperaturi od 37,5 C. V teoriji bi lahko na ta način na različne napačne informacije, shranjene v tekočih kristalih ZCM, vplivali s povišanjem temperature in s piezoelektričnimi dogodki ter s tem povrnili homogenost ZCM. Kot piše avtor, je vpliv mehanske sile, kot je to v primeru SMF, zadosten, da spremeni fazno stanje osnovne substance, ustvarjajoč zunajcelično okolje zdravega in učinkovitega fluidnega gela. V vezivnem tkivu lahko kolagen zaradi elektromehanske transdukcije neposredno ali preko biokemičnih procesov izmenjuje informacije od makroskopske do celične ravni (Stroe et al., 2013). Električni potenciali se po naravi ustvarjajo v ZCM pod mehansko deformacijo, kar bi lahko bil vzrok za modulatorni mehanizem celičnega odziva poleg ostalih biokemičnih in mehaničnih poti (Tozzi, 2014). To nam lahko pomaga pri razumevanju bioloških funkcij fascije in procesa, v katerem celice urejajo kolagenske fibrile v smeri specifično usmerjenih mehaničnih sil. Piezoelektrični tokovi so opisani kot pogonska sila v prvi fazi obnove tkiva, kjer skupaj s *transformirajočim rastnim faktorom-β* urejajo nalaganje in orientacijo kolagenskih vlaken (Farahani, Kloth, 2008). Spremembe v zgradbi kolagena lahko po poškodbi, operaciji ali

kroničnem vnetju spremenijo piezoelektrični odgovor okolnega tkiva s posledičnim spremembami v zgradbi in funkciji fascije (Tozzi, 2014). Nesporno je, da je učinek piezoelektričnosti prisoten, vendar je glede na njegov dolgoročni učinek težko predvideti, kako je za takojšnji občutek spremembe lastnosti tkiv pod roko terapevta odgovoren mehanizem piezoelektričnosti (Schleip, 2003a).

4.3 Regulacija pritiska in pretoka tekočin, ki tečejo skozi fascijo

Pomembna fiziološka vloga fascije je vzdrževanje ravnovesja telesnih tekočin. Vsebnost vode urejajo spremembe v pritisku intersticijskih tekočin, ki so rezultat dinamične interakcije med osmotsko silo negativno nabitih, navadno pod-hidriranih glikozaminoglikanov ter mehnično togostjo in napetostjo kolagenskih vlaken, ki nasprotujejo izlivu vode (Tozzi, 2015). Zdi se, da kakršnokoli znižanje napetosti kolagenskih vlaken vodi v zmanjšanje intersticijskega hidrostatskega pritiska in omogoča absorpcijo vode v ZCM. Fibroblasti imajo v tem primeru ključno vlogo pri določanju napetosti kolagena prek celično-matričnih stikov, ker delujejo kot modulatorji pretoka tekočin s spreminjanjem svoje velikosti in napetosti matriksa, kot odgovor na spremembe osmotskega tlaka (Langevin et al., 2013). Ko na fibroblast delujemo z neko silo, se voda izpodrine proti ZCM. Ta mehanizem omogočajo številni negativni naboji glikozaminoglikanov, ki vežejo vodo, in delne ter trajne prekinitve stika med integrini in matriksom. Ko napetost popusti, z resorpcijo vode fibroblasti povrnejo svojo začetno obliko in prek integrinov ponovno vzpostavijo povezave z matriksom (Bordoni, Zanier, 2014). Pomik vode iz fibroblastov poveča togost fascije, kar vpliva na odgovor fascialnega sistema v prisotnosti mehanskega stresa. Dokazali so prisotnost specifičnih fibroblastnih celic, fasciacitov, ki naj bi proizvajali hialuronsko kislino in na ta način zagotavljali optimalno viskoznost in elastičnost okolja. Fascijo lahko opišemo kot spominski organ, ker ne samo da zaznava funkcijo struktur, s katerimi je v stiku, ampak pomni tudi vsako funkcijo ali informacijo, ki sprejme od določene strukture (Bordoni, Zanier, 2014). Dokler fibroblasti vzdržujejo napetost matriksa, voda ne more v tkiva (Tozzi, 2015a).

Tozzi (2015b) opisuje ugotovitve treh raziskav, v katerih so želeli dokazati strukturne spremembe fascialnega tkiva po sprostitvi mišičnih fascij. SMF torakolumbane fascije pri pacientih s kronično bolečino v križu je v eni raziskavi pokazala zadebelitev fascialnih plasti, ki je vztrajala še 24 ur po terapiji (Blanquet et al., 2010). To je pojasnjeno s podaljšano

spremembo v zgradbi in/ali hidraciji obravnavane fascije. Podobno temu so meritve v drugi raziskavi, izvedeni takoj pred terapijo in po njej, dokazale značilne razlike v gostoti kolagenskih vlaken ter v urejenosti in zgradbi matriksa v dermisu, ki se odražata z otipljivimi spremembami v napetosti in urejenosti tkiva (Pohl, 2010). Te ugotovitve se skladajo s hipotezo tretje raziskave (Martin, 2009), v kateri avtor izpostavi, da verjetno SMF prek trganja nepravilnih kolagenskih povezav in povečane hidracije matriksa vpliva na reorganizacijo in remodelacijo kolagenskih vlaken.

Če nastopi vnetje, lahko spremembe fizikalnih lastnosti vezivnega tkiva vplivajo na kapilarno prepustnost in s tem lahko povečajo pretok tekočin do stokrat. Znižanju pritiska intersticijskih tekočin, ki je pod vplivom dogodkov v integrinskem kompleksu, sledi sprostitvev celične napetosti na kolagensko mrežo, kar omogoča glikozaminoglikanom, da se razširijo in prevzamejo tekočino (Tozzi, 2015b). Pomembna funkcija fascije, ki jo je smiselno omeniti, je, da trajajoči statični razteg fascije lahko povzroči izliv tekočine iz tkiva. Temu sledi kompenzatorno povečanje hidracije matriksa, kar Schleip in sodelavci (2012) opisujejo kot efekt vpijajoče gobice. Prav tako Langevin in sodelavci (2013) trdijo, da nekaj minut trajajoč terapevtski razteg potencialno razbremeni matriks in spodbuja kapilarni pretok in trenutno otekanje matriksa. Fibroblasti lahko v odgovor na slednje prekinajo povezave z matriksom, kar še dodatno zniža intersticijski tlak, ali pa remodelirajo kontraktilni citoskelet in povezave z matriksom ter tako vzpostavijo dovolj močno protinapetost, da povrnejo napetostno ravnovesje. Z druge strani se je hidrostatski tlak pokazal kot mehanski dražljaj, ki sproži učinek mehanotransdukcije, ki usmerja celično vedenje. To vključuje gibanje celic znotraj ZCM, polimerizacijo citoskeleta in celično uravnavanje občutljivosti na pritisk tekočin (Myers et al., 2007). Meert (2012) pravi, da intersticijski pretok tekočin verjetno inducira diferenciacijo fibroblastov v miofibroblaste ter spodbuja proliferacijo fibroblastov in urejanje kolagena, pri čemer ima tudi pomembno vlogo v fibrogenezi in obnovi tkiva. Glede na to da pretok tekočin v ZCM verjetno prenaša metabolične in signalne molekule, se predvideva, da ima vlogo v obnovi homeostaze tam, kjer je le-ta porušena. Kot primer, povečani pretok tekočine izboljša odplavljanje vnetnih medijatorjev ter zmanjša kemično draženje in nociceptivne dražljaje.

Če SMF vpliva na lokalno preskrbo tkiv s krvjo in viskoznost obravnavanega tkiva, je povsem verjetno, da bi bile spremembe v tkivih dovolj hitre, da jih terapevt v času terapije prepozna (Schleip, 2003b).

4.4 Viskoelastičnost

Viskoelastičnost je definirana kot lastnost materialov, da izražajo elastične in viskozne značilnosti pod vplivom delovanja mehanske ali toplotne energije. Pri manualnih postopkih usmerjenih v sprostitvev mišičnih fascij, naj bi vezivno tkivo, ki je v naravi koloidna snov, spremenilo agregatno stanje iz bolj gostega, gel, v bolj tekoče, sol, stanje.

Pojem viskoelastičnosti je že dolgo časa splošno sprejet kot eden izmed predvidenih mehanizmov delovanja različnih mehko-tkivnih manualnih terapevtskih postopkov (Barnes, 1997). Fascija je sposobna tako plastične kot elastične deformacije na ne-linearen način, v odvisnosti od količine, trajanja, hitrosti in bremena (Yahia et al., 1993). Za viskoelastičnost je odgovorna soodvisnost med zgradbo in sestavo vezivnega tkiva in količine vode. Istočasno se s spremembo napetosti znotraj vezivnega tkiva začne remodelacija citoskeleta fibroblastov, s posledično spremembo v togosti in viskoznosti tkiva. Temu sledijo spremembe v signaliziranju med celicami, izražanju genskih vzorcev, tvorbi povezav znotraj matriksa ter modulaciji napetosti vezivnega tkiva in njegovi fiziologiji (Langevin et al., 2005). Tozzi (2013) v pregledu literature povzema ugotovitve večih avtorjev in poroča o ne tako davno odkriti pasivni lastnosti miofascije, neodvisni od aktivnosti živčnega sistema. Tonus miofascialnih struktur v mirovanju predstavlja intrinzični miofascialni tonus, ki ga ustvarjajo interakcije molekul aktomiozinskih filamentov in miofibroblastov. Predvideva se, da ima tonus v mirovanju miofascialnih struktur pomemben prispevek pri vzdrževanju posturalne stabilnosti z minimalno porabo energije. Spremembe v normalnem tonusu tako vplivajo na napetost okoliškega fascialnega tkiva, gibljivost sklepov, nadzor gibanja ter stabilno držo. Posledično bi lahko povzročile različna patološka stanja in okvare.

Literatura poroča, da so takojšnje spremembe lastnosti tkiva po manualni obravnavi fascialnih tkiv/struktur lahko rezultat koloidnih sprememb, to pomeni transformacijo bazne snovi iz gostega (gel) v bolj tekoče (sol) stanje (Rolf, 1977). Preoblikovanje iz gel v sol stanje, znano tudi kot tiksotropija, je bila dokazana kot rezultat dolgotrajne aplikacije mehničnega stresa na vezivno tkivo (Schleip, 2003a). Raziskovalci predlagajo, da sta povečano drsenje med plastmi tkiv, skupaj z znižanjem bolečine po manualni fascialni terapiji, lahko rezultat gel-v-sol transformacije (Findley, 2009). Zdi se, da ima ta sprememba v viskoznosti tkiv vpliv na tvorbo hialuronske kisline in pretok tekočin v fascialnih tkivih, s čimer se izboljša odtok vnetnih medijatorjev in metaboličnih odpadkov (Tozzi, 2011).

Terapevti poročajo o »sprostitvi tkiva« pri manualni obravnavi, ki nastopi po terapiji ali že med njo. Postavlja se vprašanje, če lahko mehanizem tiksotropije pojasni takojšnje spremembe v viskoznosti tkiv, ki ga terapevt začuti z rokami. Schleip (2003) je poudaril problem reverzibilnosti, namreč pri koloidnih sistemih je učinek tiksotropije prisoten le, dokler na snov delujeta toplota ali pritisk. Ko se le-ti izgubita, snov hitro spet dobi lastnosti gela. V prid temu 3D matematični model fascialne deformacije, ki so ga ustvarili Chaudhry in sodelavci (2008), zavrača možnost, da so otipljive spremembe na tkivih po manualni terapiji lahko posledica plastične deformacije bolj togih fascij. Prav tako tudi Tozzi (2012) pravi, da je sila, uporabljena pri manualnih terapijah na površini telesa prek plantarne fascije *in m. tesnor fascia latae*, nezadostna za manualni razteg fascije, vendar je mogoče, da bi ta sila na mehkejših tkivih, kot je to obrazna fascija, zadostovala. Avtor je mnenja, da otipljive spremembe sproščanja tkiva, ki jih pogosto opisujejo osteopati in manualni terapevti, niso posledica plastične deformacije. Pri večini tehnik usmerjenih v obravnavo mišičnih fascij je trajanje posameznega »vleka« ali pritiska na določeno točko na tkivu med nekaj sekundami in dvema minutama. Zelo redko je videti, da terapevt izvaja neprekinjeni pritisk dlje kot dve minuti. Kot navaja Schleip (2003b), so laboratorijske raziskave, ki so proučevale plastičnost vezivnega tkiva v odvisnosti od časa in napetosti, pokazale, da je s ciljem trajnega podaljšanja kolagenskih vlaken potrebno uporabiti ali zelo močan razteg (3-8 % podaljšanje vlaken od prvotne dolžine vlakna), ki bo privedel do pretrganja tkiva skupaj z vnetnim procesom, ali pa manjši razteg (1-1,5 % podaljšanje vlaken od prvotne dolžine vlakna), trajajoč več kot eno uro, če želimo doseči trajno podaljšanje brez vnetja in poškodb vlaken.

Langevin in sodelavci (2011) so dokazali, da statični razteg, v tem primeru ohlapnega vezivnega tkiva (~20-25 %), prek aktivacije kompleksov fokalnih stikov in aktivacije signalnih poti uravnanih s Rho-kinazo, povzroča remodelacijo citoskeleta fibroblastov. To posledično vodi v preoblikovanje celičnih fokalnih stikov in aktivacijo aktomiozina, kar povzroči protinapetost. Ta proces omogoča okoliškemu tkivu, da se še dodatno sprosti in doseže manjšo napetost v mirovanju. V raziskavi so dokazali, da lahko fibroblasti s spreminjanjem oblike dinamično oblikujejo viskoelastičnost ohlapnega vezivnega tkiva prek Rho-odvisnih citoskeletnih mehanizmov. Kljub temu da je lastnost hitrega odziva na mehanski stres prisotna predvsem pri ohlapnem vezivnem tkivu, ostaja pomembna pri manualnih obravnavah, saj je ohlapno vezivno tkivo povezava med subkutanimi in obmišičnimi plastmi in je nanj možno vplivati z manualno silo.

4.5 Inervacija in nevrofiziološke spremembe v fasciji

Posnetki elektronskega mikroskopa in posebnih tehnik barvanja tkiv prikazujejo bogato oživčenost fascije s senzoričnimi vlakni. To nakazuje, da fascija lahko prispeva k proprioceptiji in nocicepciji in da je lahko občutljiva na manualni pritisk, temperaturo in vibracijo (Kumka, Bonar, 2013).

Nekateri od receptorjev, ki jih najdemo v fasciji, se verjetno odzivajo in imajo vpliv na avtonomne odgovore, kot je padec krvnega pritiska. Na osnovi strukture razlikujemo dve vrsti receptorjev: proste živčne končiče in inkapsulirane receptorje. Nekateri od receptorjev delujejo kot mehanoreceptorji in nociceptorji. Kapsulirani intrafascialni receptorji, najdeni v fasciji, so mehanoreceptorji, ki zaznavajo mehanski pritisk ali deformacijo in vključujejo Golgijeve receptorje, Pacinijeva telesca, Paciniformna telesca in Ruffinijeve organe (Schleip, 2003a). Prva skupina mehanoreceptorjev so velika Pacinijeva telesca skupaj z malo manjšimi Paciniformnimi telesci. Jajčasto oblikovana Pacinijeva telesca reagirajo na hitre spremembe v tlaku in vibracije. Nekoliko manjša so Paciniformna telesca, ki imajo podobno funkcijo in občutljivost. Poleg njih najdemo še Ruffinijeve organe, ki se počasi adaptirajo in so občutljivi na dolge počasne oscilacije. Zdi se, da Pacinijeve receptorje stimulirajo le hitre sunkovite tehnike, pri čemer pa Ruffinijeve končiče vzdražijo počasne in globoke mehkotkivne tehnike (Schleip, 2003a).

Tozzi (2014) v svoji študiji na podlagi izsledkov preteklih raziskav predpostavlja, da je fascija dobro oživčeno tkivo, predvsem z aferentnimi prostimi živčnimi končiči, vključno z nociceptivnimi. Dokazal je, kako draženje teh primarnih aferentnih nociceptivnih vlaken lahko povzroči izločanje neuropeptidov, ki lahko posledično spremenijo normalno tkivno teksturo okolnega vezivnega tkiva, in sicer prek interakcije s fibroblasti, mastocitnimi in imunskimi celicami. Avtor navaja, da ta proces lahko sproži številne lokalne in sistemske odzive: remodelacijo vezivnega tkiva, vnetje, spremenjeno občutljivost živčnega sistema in bolečino, ki se lahko razvije v kronično. Sčasoma sledi prilagoditveni odziv celotnega organizma. Poleg tega je dokazano, da ima večina mehanoreceptorjev tipa III in IV avtonomno funkcijo. Njihova stimulacija povzroči spremembe srčnega utripa, krvnega pritiska in dihanja, zaradi česar lahko predvidevamo, da je njihova naloga natančno urejanje lokalnega pretoka krvi (Schleip, 2003a).

Obe vrsti intrafascialnih mehanoreceptorjev, Pacini- / Paciniformna in Ruffinijeva telesa najdemo pri vseh tipih gostega urejenega vezivnega tkiva, v mišičnih fascijah, kitah, ligamentih, aponevrozah in sklepni ovojnici. Ruffinijevi končiči so posebej zastopani v tkivih, ki so pogosto raztezana, kot je recimo zunanja plast sklepne ovojnice, dura mater, ligamenti perifernih sklepov in globoka dorzalna fascija roke. Potrebno je omeniti, da so Ruffinijevi končiči posebno občutljivi na tangencialne sile in lateralni razteg. Predvideva se tudi, da njihova stimulacija znižuje aktivnost simpatičnega živčnega sistema. To se ujema s kliničnimi ugotovitvami, da ima počasna globoka tkivna tehnika obravnave fascij sproščujoč tako učinek na lokalna tkiva kot tudi na cel organizem (Schleip, 2003a).

Benjamin (2009) v svojem pregledu opisuje vrsto študij, ki so dokazale prisotnost primarnih aferentnih in živčnih vlaken v fasciji. Oživčenje je bolj gosto v povrhnjih plasteh med dermisom in globoko fascijo, pri čemer potek živcev sledi segmentalnemu vzorcu porazdelitve po miotomih in dermatomih, kar podpira koncept o fasciji kot senzornem organu. Prisotnost mehanoreceptorjev v fasciji še zlasti nakazuje na njeno vlogo v dinamični procepciji, prenosu sile in motoričnem nadzoru (Stecco et al., 2007).

Glede na popolnost in enotnost fascialnega kontinuuma je težko verjeti, da obstaja razlaga predvidenih mehanizmov fascialne plastičnosti brez povezave z živčnim sistemom. Schleip (2003b) je le-to tudi dokazal z enostavnim poskusom, pri katerem je izvajal terapijo na anesteziranih pacientih in ugotovil, da se tkiva brez pravilne nevralne povezave ne odzivajo kot v normalnih pogojih.

Otipljive spremembe na tkivih je težko pojasniti samo z mehničnimi mehanizmi. Relativno majhne sile, uporabljene pri manualnih obravnavah, niso zadostne za povzročitev plastične spremembe tkiv, zato je verjetno, da koristi miofascialnih terapij temeljijo na nevrofiziološki podlagi (Simmons et al., 2012). SMF vključuje stimulacijo intrafascialnih mehanoreceptorjev. Schleip (2003b) številne nevrofiziološke odzive in procese v fasciji kot odgovore na terapijo usmerjeno v obravnavo fascialnih tkiv opisuje s štirimi povratnimi zankami. Pri vseh zankah je skupno to, da terapevtska manipulacija vzdraži mehanoreceptorje, od koder naprej informacije obdelujeta centralni in avtonomni živčni sistem. Prva zanka opisuje odziv centralnega živčnega sistema. Ko terapevt pri terapiji izvaja razteg tkiva, draženje mehanoreceptorjev spremeni proprioceptivni priliv v centralni živčni sistem. Aktivacija sistema gama motoričnih nevronov posledično prek motoričnih enot vpliva na regulacijo tonusa prečno-progastih mišičnih vlaken pod terapevtovo roko (Schleip

2003b). Druga, avtonomna intrafascialna cirkulacijska zanka pravi, da aktivacija intrafascialnih receptorjev in Ruffinijevih končičev verjetno povzroči aktivacijo avtonomnega sistema s posledično spremembo lokalnega pretoka v fascialnih arteriolah in kapilarah. Skladno s tem Van den Berg in sodelavci (1999) poročajo, da stimulaciji Ruffinijevih končičev sledi znižanje simpatične aktivacije. Nadalje se predvideva, da močno draženje intersticijskih vlaken lahko povzroči izliv plazme iz krvi v intersticij, s čemer prek lokalne dinamike tekočin spremeni viskoznost ZCM. S tretjo, hipotalamično zanko avtor pojasnjuje, kako lahko draženje intersticijskih receptorjev povzroči zvišanje vagalnega tonusa, ki mu sledi trohotropično uravnavanje hipotalamične aktivnosti. Posledice tega se izkažejo s sistemskim živčno-mišičnimi, emocionalnimi, kortikalnimi in endokrinimi spremembami. Učinek teh sprememb se kaže v globoki sprostitvi celotnega organizma. Prisotnost gladko-mišičnih celic med kolagenskimi vlakni v fasciji (Gabbiani, 2003) in njihova kontraktilna lastnost predstavljata četrto avtonomno zanko. Avtor namreč meni, da so gladko-mišične celice pod vplivom avtonomnega živčnega sistema in da vsaka sprememba v njegovi aktivnosti neposredno vpliva na tonus intrafascialnih mišic. Večji kot je vpliv simpatikusa, višji bo tudi tonus v fasciji. Novejši uvidi v fiziologijo bolečine so pokazali, da nekateri intersticijski receptorji delujejo kot mehanoreceptorji in nociceptorji. Pri prisotnosti bolečine, se njihova občutljivost spremeni v tolikšni meri, da normalni fiziološki pritisk povzroča močno in kronično draženje teh receptorjev (Chaitow, DeLany 2000).

McPartland (2008) navaja možnost, da je za del fizioloških učinkov miofascialnih tehnik odgovorna stimulacija endokanabinoidnega sistema prek parakrinih in endokrinih poti. Ta sistem namreč vpliva na remodelacijo fibroblastov in verjetno igra vlogo v fascialni reorganizaciji, saj zmanjšuje nocicepcijo in vnetje tkiv. Kot navaja avtor, imajo kanabinoidi pomembno vlogo tudi v osrednjem živčevju in srčno-žilnem sistemu ter sproščanju gladkomišičnih celic, kar lahko neposredno vpliva na viskoznost tkiva.

Če povzamemo vse zgoraj naštete mehanizme in fiziološke odzive fascijalnega sistema kot odgovor na manualni pritisk in razteg pri uporabi SMF, lahko sklepamo, da so v ozadju sprostitve tkiv številni biološki in kemični procesi, nekateri še vedno nezadostno pojasnjeni. Takojšnja otipljiva sprememba v strukturi in tonusu tkiva je torej kombinacija nevroloških, fizioloških in mišičnih odzivov v telesu, odvisnih najverjetneje tudi od tehnike in pristopa

terapevta. Nadaljnje raziskave in testiranja so potrebni, da potrdijo in obnovijo predvidene mehanizme delovanja.

5 SKLEP

Na podlagi pregleda literature, s katerim smo želeli povzeti predvidene učinke delovanja manualnih terapevtskih postopkov, usmerjenih v obravnavo facialnih tkiv, lahko sklenemo, da različni manualni pristopi lahko spreminjajo fiziološke in morfološke lastnosti fascije. Fascija prežema in obdaja vsak del telesa in ustvarja neprekinjeno 3-dimenzionalno strukturno oporo. Ohranja dinamične lastnosti telesa in deluje kot proprioceptivni organ. Osnovno gradbeno enoto fascije predstavljajo fibroblasti. Fibroblasti imajo pomembno vlogo v prenosu mehaničnih sil in v regulaciji pretoka tekočin, kjer z remodulacijo citoskeleta in kontraktilnosti znotraj celice ohranjajo napetostno ravnovesje v tkivih. Pod vplivom raztega ali biokemičnih signalov fibroblasti lahko diferencirajo v miofibroblaste. Počasen, dlje časa trajajoč manualni razteg na površini tkiv verjetno vzdraži mehanoreceptorje v različnih plasteh ter sproži zaporedje signalnih biokemičnih odzivov, tako lokalnih kot tudi sistemskih. Skupno vsem manualnim pristopom je, da s spreminjanjem viskoznosti, tonusa, gostote in urejenosti vlaken želijo vplivati na fiziološke in funkcijske lastnosti fascialnih tkiv. Komunikacija med celicami fibroblastov poteka prek presledkovnih stikov in ustvarja neprekinjeno signalno omrežje skozi telo, zato gre pričakovati učinke terapije tudi na mestih, oddaljenih od obravnavanega področja. Piezoelektričnost kot lastnost bioloških struktur za prevajanje električnih nabojev lahko pojasni odzivnost nekaterih struktur, oddaljenih od mesta obravnave, kjer v primerjavi z ionskim potencialom električni delujejo na večje oddaljenosti. Spreminjanje pretoka tekočin znotraj fascije je drugi možen odgovor fascialnega tkiva na manualni pritisk. Spremembe intersticijskega hidrostatskega tlaka, ki ga uravnavajo fibroblasti, indirektno vplivajo na togost fascije in okoliških tkiv. Učinke SMF lahko razlagamo tudi z mehanizmom viskoelastičnosti, ki pravi, kako so takojšnje spremembe v strukturi tkiva po SMF rezultat koloidnih sprememb, oziroma spremembe bazne snovi iz bolj trdega (gel) stanja v bolj tekoče (sol) stanje. Dokazana je bogata oživčenost fascije s senzornimi vlakni, ki jih SMF stimulira. Opisuje se prisotnost Golgijevih receptorjev, Paciniformnih telesc, Pacinijevih telesc, Ruffinievih organov ter prostih živčnih končičev. Njihovo draženje lahko sproži številne lokalne in sistemske odzive, kot so: remodelacija vezivnega tkiva, sprememba srčnega utripa in tlaka, zmanjšana aktivnost simpatičnega živčnega sistema. Takojšnje otipljive spremembe v strukturi in tonusu tkiv so rezultat številnih fizioloških in živčno-mišičnih odzivov v telesu. Mehanizmi niso neposredno dokazani zato je potrebno v prihodnje izvesti ponovljive in kontrolirane raziskave s področja manualne obravnave mišičnih fascij.

6 LITERATURA

Abu-Hijleh MF, Roshier AL, Al-Shboul Q, et al. (2006). The membranous layer of superficial fascia: evidence for its widespread distribution in the body, *Surg Radiol Anat* 28: 606-619.

Barnes JF (1990). *Myofascial Release: The Search of Excellence*. Rehabilitation Services Inc., Paoli, PA, Medicine, W.B. Saunders Co.

Barnes MF (1997). The basic science of myofascial release: morphologic changes in connective tissue. *J Bodyw Mov Ther* 1(4): 231-238.

Benjamin M (2009). The fascia of the limbs and back: a review. *J Anat* 214(1): 1-18.

Benjamin M, Kaiser E, Milz S, (2008). Structure-function relationships in tendons: a review. *J Anat* 212 (3): 211-228.

Bordoni B, Zanier E (2015). Understanding fibroblasts in order to comprehend the osteopathic treatment of the fascia. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, vol. 2015. Article ID 860934

Cantu RI, Grodin AJ (1992). *Myofascial manipulation – theory and clinical application*. Gaithersburg: Aspen Publication.

Cao TV, Hicks MR, Campbell D, Standley PR (2013). Dosed myofascial release in three-dimensional bioengineered tendons: effects on human fibroblast hyperplasia, hypertrophy, and cytokine secretion. *J Manip Physio Ther* 36 (8): 513-521.

Chaitow L (1980). *Soft tissue manipulation*. Wellingborough: Thorsons.

Chaitow L, DeLany JW (2000). *Clinical Application of Neuromuscular Techniques*, Vol. 1. Edinburgh: Churchill Livingstone.

Chaudhry H, Schleip R, Ji Z, Bukiet B, Maney M, Findley T (2008). Three-dimensional mathematical model for deformation of human fasciae in manual therapy. *J Am Osteopath Assoc* 108 (8): 379-390.

Chiquet M, Gelman L, Lutz R, Maier S (2009). From mechanotransduction to extracellular matrix gene expression in fibroblasts. *Biochim Biophys Acta* 1793 (5): 911-920.

Deising S, Weinkauff B, Blunk J, Obreja O, Schmelz M, Rukwied R (2012). NGF-evoked sensitization of muscle fascia nociceptors in humans. *Pain* 153 (8): 1673-1679.

Farahani RM, Kloth LC (2008). The hypothesis of 'biophysical matrix contraction': wound contraction revisited. *Int Wound J* 5 (3): 477-482.

Fernandez de las Penas C, Palomeque del Cerro L, Carnero J (2005). Manual treatment of post-whiplash injury. *Int J Bodyw Mov Ther* 9: 109-119.

Findley T (2009). Fascia research II: Second International Fascia Research Congress. *Int J Ther Massage Bodywork* 2 (3): 4-9.

Findley T (2011). Fascia research from a clinician/scientist's perspective . *Int J Bodyw Mov Ther* 4 (4): 1-6.

Findley T, Chaudhry H, Stecco A, Roman M (2012). Fascia research – A narrative review. *J Bodyw Mov Ther* 16 (1): 67-75.

Findley T, Shalwala M (2013). Fascia Research Congress Evidence from the 100 year perspective of Andrew Taylor Still. *J Bodyw Mov Ther* 17 (3): 356-364.

Fukada E (1982). Electrical phenomena in biorheology. *Biorheology* 19 (1/2): 15-27.

Gabbiani G (2003). The myofibroblast in wound healing and fibrocontractive diseases. *J Pathol* 200 (4): 500-503.

Goldmann WH (2014). Mechanosensation: a basic cellular process. *Prog Mol Biol Transl Sci* 126: 75-102.

Hinz B, Gabbiani G (2003). Mechanisms of force generation and transmission by myofibroblasts. *Curr Opin Biotechnol* 14 (5): 538-546.

Huijing PA (2009). Epimuscular myofascial force transmission: a historical review and implications for new research. *J Biomech* 42 (1): 9-21.

Huijing PO, Langevin HM (2009). Communicating about fascia: history, pitfalls and recommendations. *Int J Ther Massage Bodyw* 2 (4): 3-8.

Ingber DE (2008). Tensegrity and mechanotransduction. *J Bodyw Mov Ther* 12 (3): 198–200.

Klingler W, Velders M, Hoppe K, Pedro M, Schleip R (2014). Clinical relevance of fascial tissue and dysfunction. *Curr Pain Headache Rep* 18 (8): 439.

Kumka M, Bonar J (2012). Fascia: a morphological description and classification system based on a literature review. *J Can Chiropr Assoc* 56 (3): 179-191.

Kwong EH, Findley T (2014). Fascia – Current knowledge and future directions in physiatry: Narrative review. *JRRD* vol 51 (6): 875-884.

Langevin HM (2006). Connective tissue: a body-wide signalling network? *Med Hypotheses* 66 (6): 1074-1077.

Langevin HM, Bouffard NA, Badger GJ, Iatridis JC, Howe AK (2005). Dynamic fibroblast cytoskeletal response to subcutaneous tissue stretch ex vivo and in vivo. *Am J Physiol Cell Physiol* 288 (3): 747-756.

Langevin HM, Fox JR, Koptiuch C, et al. (2011). Reduced thoracolumbar fascia shear strain in human chronic low back pain. *BMC Musculoskelet Disord* 12: 203.

Langevin HM, Nedergaard M, Howe AK (2013). Cellular control of connective tissue matrix tension. *J Cell Biochem* 114 (8): 1714-1719.

LeBauer A, Brtalik R, Stowe K (2008). The effect of myofascial release (MFR) on an adult with idiopathic scoliosis. *J Bodyw Mov Ther* 12 (4): 356-363.

Manheim CJ (2001). *The myofascial release manual*, 4 ed. Thorofare: Slack inc.

- McPartland JM (2008). Expression of the endocannabinoid system in fibroblasts and myofascial tissues. *J Bodyw Mov Ther* 12 (2): 169-182.
- Meert G (2012). Fluid dynamics in fascial tissues. *Fascia: the Tensional Network of the Human Body*. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Myers KA, Rattner JB, Shrive NG, Hart DA (2007). Hydrostatic pressure sensation in cells: integration into the tensegrity model. *Biochem Cell Biol* 85 (5): 543-551.
- Oschman JL, Oschman NH (1994). Somatic recall. Part II. Soft tissue holography. *Massage Ther J* 34, 66-67, 106-10.
- Pischinger A (1991). Matrix and matrix regulation: basis for a holistic theory in medicine. Brussels: Haug International.
- Pohl H (2010). Changes in the structure of collagen distribution in the skin caused by a manual technique. *J Bodyw Mov Ther* 14 (1): 27-34.
- Porter KE, Turner NA, (2009). Cardiac fibroblasts: at the heart of myocardial remodeling. *Pharmacol Ther* 123 (2): 255-278.
- Radjieski J, Lumley M, Cantieri M (1998). Effect of osteopathic manipulative treatment on length of stay for pancreatitis: a randomized pilot study. *JAOA* 98 (5): 264-272.
- Rolf IP (1977). *Rolfing: the integration of human structures*. Santa Monica: Dennis Landman.
- Salamon E, Zhu W, Stefano GB (2004). Nitric oxide as a possible mechanism for understanding the therapeutic effects of osteopathic manipulative medicine (Review). *Int J Mol Med* 14 (3): 443-449.
- Schleip R (2003a). Fascial plasticity - a new neurobiological explanation: Part 1. *J Bodyw Mov Ther* 7 (1): 11-19.
- Schleip R (2003b). Fascial plasticity - a new neurobiological explanation: Part 2. *J Bodyw Mov Ther* 7 (2): 104-16.

Schleip R, Chaitow L, Findley TW, Huijing P (2012). *Fascia: the tensional network of the human body. the science and clinical applications in manual and movement therapy*. Edinburgh: Churchill Livingstone.

Schleip R, Klingler W, Lehmann-Horn F (2005). Active fascial contractility: fascia may be able to contract in a smooth muscle-like manner and thereby influence musculoskeletal dynamics. *Med Hypotheses* 65 (2): 273-277.

Schleip R, Naylor IL, Ursu D, et al. (2006). Passive muscle stiffness may be influenced by active contractility of intramuscular connective tissue. *Med Hypotheses* 66 (1): 66-71.

Simmonds N, Miller P, Gemmell H (2012). A theoretical framework for the role of fascia in manual therapy. *J Bodyw Mov Ther* 16 (1): 83–93.

Stanborough M (2004). *Direct release myofascial technique*. Philadelphia: Churchill Livingstone.

Stecco C, Gagey O, Belloni A, et al. (2007). Anatomy of the deep fascia of the upper limb. Second part: study of innervation. *Morphologie* 91 (292): 38-43.

Stecco A, Stern R, Fantoni I, De caro R, Stecco C (2016). Fascial disorders: implications for treatment. *Am J Phys Med Rehabil* 8 (2): 161-168.

Stecco L (2004). *Fascial manipulation for musculoskeletal pain*. Padova: Piccin nuova libreria.

Stroe MC, Crolet JM, Racila M (2013). Mechanotransduction in cortical bone and the role of piezoelectricity: a numerical approach. *Comput Methods Biomech Biomed Eng* 16 (2): 119-129.

Tesarz J, Hoheisel U, Wiedenhofer B, Mense S (2011). Sensory innervation of the thoracolumbar fascia in rats and humans. *Neuroscience* 27 (194): 302-308.

Tozzi P (2012). Selected fascial aspects of osteopathic practice. *J Bodyw Mov Ther* 16 (4): 503-519.

- Tozzi P (2014). Does fascia hold memories? *J Bodyw Mov Ther* 18 (2): 259-265.
- Tozzi P (2015b). A unifying neuro-fasciagenic model of somatic dysfunction – Underlying mechanisms and treatment – Part II. *J Bodyw Mov Ther* 19 (3): 526-543.
- Tozzi P, Bongiorno D, Vitturini C (2011). Fascial release effects on patients with non specific cervical or lumbar pain. *J Bodyw Mov Ther* 15 (4): 405-416.
- Van den Berg F, Cabri J (1999). *Angewandte Physiologie – Das Bindegewebe des Bewegungsapparates verstehen und beeinflussen*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Ward RC (1993). Myofascial release concepts. In: Basmajian V, Nyberg R (eds). *Rational Manual Therapies*. Baltimore: Williams & Wilkins
- Yahia LH, Pigeon P, DesRosiers EA (1993). Viscoelastic properties of the human lumbodorsal fascia. *J Biomed Eng* 15 (5): 425-429.