

# Intraossaire disfunctie: feiten of fictie?

---

Auteur

Job van der Klein

Promotor

Rik Hoste DO



Thesis voorgedragen met het oog op het afstuderen aan  
het College Sutherland voor Osteopathische Geneeskunde te  
Amsterdam  
(2012-2019)

## VOORWOORD

---

Voor u ligt een thesis gericht op het verzamelen van de beschikbare literatuur over intraossaire dysfuncties. Deze thesis is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Osteopathie aan het College Sutherland Amsterdam. Van medio maart 2018 tot en met 1 juni 2019 ben ik bezig geweest met het verkennen en onderzoeken van het onderwerp met deze thesis als resultaat. Samen met Rik Hoste ben ik uitgekomen op het onderwerp intraossaire dysfuncties, toentertijd nog gericht op de invloed van een intraossaire dysfunctie op de myofasciale keten. Gaandeweg bleek er minder literatuur aanwezig te zijn dan gedacht en is het onderwerp verbreed naar een explorerend onderzoek over intraossaire dysfuncties. Tijdens het onderzoeken en schrijven stond Rik Hoste voor mij klaar met tijdige reacties en nauwkeurige feedback. Bij deze wil ik Rik Hoste dan ook bedanken voor zijn prettige begeleiding en ondersteuning tijdens dit traject. Ook wil ik andere docenten van de opleiding osteopathie aan het College Sutherland Amsterdam bedanken, voor hun toegewijde manier van lesgeven. Hun passie voor het vak inspireerde mij voor het uitvoeren van mijn toekomstige beroep en geeft mij een gezonde dosis interesse in het vakgebied. Tijdens deze thesis heb ik verschillende mensen mogen interviewen. De verschillende visies van de geïnterviewden verruimde mijn blik op het onderwerp. Zij stuurden mij kanten op, waar ik alleen niet op was gekomen. In het speciaal nog mijn dank aan Leonard van der Geer, voor zijn tijd en welwillendheid in het delen van zijn kennis en inzichten. Naast de geïnterviewden heb ik veel tips en informatie verkregen vanuit contact met Jean-Pierre Noelmans. Zijn openheid en enthousiasme voor onderwerpen zoals biotensegrity en mechanotransductie maakte de drempel voor mij naar dit onderwerp een stuk lager. De tijd die hij heeft gestoken in het zoeken in zijn literatuur om een student osteopathie te helpen is een voorbeeld van passie voor het delen van je vak. Als laatst wil ik ook de mensen in mijn persoonlijke omgeving bedanken voor de steun en interesse in mijn thesis. De interesse in het onderwerp is niet altijd onuitputbaar geweest en momenten van aanmoediging en steun waren op zulke momenten zeer welkom.

## SAMENVATTING

---

Menig osteopaat neemt de intraossaire dysfunctie mee in zijn onderzoek en behandeling. Een rondvraag bij osteopathie opleidingen laat echter zien dat er geen tot weinig les wordt gegeven in intraossaire dysfuncties en een enkele opleiding laat blijken dat ze het principe van een intraossaire dysfunctie verfoeien. Literatuur en onderzoek naar intraossaire dysfuncties is gering. Het doel van dit onderzoek is om de lezer op de hoogte te brengen van de basiskennis van het bot om vanuit deze basiskennis zich te verdiepen over de beschikbare literatuur betreffende de definitie, eerder onderzoek, diagnostiek, behandeling en verklaringsmodellen van een intraossaire dysfunctie. Het design van het onderzoek is een explorerend onderzoek naar de beschikbare literatuur over een intraossaire dysfunctie middels een gestructureerde zoekmethode, aangevuld door interviews met osteopaten met affiniteit voor intraossaire dysfuncties, docenten binnen de osteopathie en onderzoekers gerelateerd aan botweefsel. Publicaties zijn gevonden middels een gestructureerde zoekmethode en de afgenomen interviews. Veelal bestonden deze publicaties uit expert opinions. Vier kwantitatieve onderzoeken en één kwalitatief onderzoek zijn gevonden. Vier interviews zijn afgenomen met osteopaten en één interview is afgenomen met een professor, die onderzoek doet naar het effect van belasting op botweefsel. Ten gevolge van het gering aantal klinische onderzoeken, laat zich nog geen definitief oordeel vellen over de aanwezigheid, definitie, diagnostiek, behandeling en het verklaringsmodel omtrent een intraossaire dysfunctie. Uit de expert opinions komt geen consensus over de definitie van een intraossaire dysfunctie, is er enkel één onderzoeksprotocol beschreven, verschillen de behandelparameters aanzienlijk en is er een consensus over het effect van fluid flow als verklaringsmodel. Het advies wordt gegeven om eerst verder onderzoek te doen naar het objectiveren, of ontcrachten, van een intraossaire dysfunctie, alvorens verder onderzoek wordt gedaan naar de behandeling van een intraossaire dysfunctie.

## ABSTRACT

---

Intraosseous dysfunctions are being taken account for in the diagnostics and treatment within a osteopathic consultation. However, a quick survey at several schools for osteopathy shows that intraosseous dysfunctions are not a self-contained part of the school's curriculum and that one of the schools even declares intraosseous dysfunctions as a disgrace for osteopathy. Literature and research in the intraosseous dysfunctions is minimal. The goal of this study is to inform the reader on the basic knowledge of bone, from where on he will read about the available literature on the definition, former research, diagnostics, treatment and explanatory models of intraosseous dysfunctions. The study design is an exploring one on the available literature regarding intraosseous dysfunctions through a structured search method. The literature search is complemented with interviews with osteopaths with affinity for intraosseous dysfunctions, postgraduate teachers regarding intraosseous dysfunctions and researchers regarding bone tissue. Publications have been found through a structured research method and interviews have been conducted. Most of the publications were expert opinion written articles. Four quantitative research studies and one qualitative research study have been found. Four interviews have been conducted with osteopaths and one interview has been conducted with a researcher regarding the effect of mechanical loading on bone tissue. A definite verdict about the presence, definition, diagnostics, treatment or explanatory models regarding intraosseous dysfunctions can not yet be given, due to the lack of clinical trials. The expert opinions give no consensus on the definition of an intraosseous dysfunction, only one diagnostic protocol was found, the treatment parameters differ greatly between the publications and there is a consensus on the fluid flow as an explanatory model. Advice coming from this study would be to further investigate to objectify, or to disprove, a intraosseous dysfunction, before further research can be done regarding the treatment of an intraosseous dysfunction.

## INHOUDSOPGAVE

---

Voorblad	1
Voorwoord	2
Samenvatting	3
Abstract	4
Lijst met tabellen en figuren	9
1 Inleiding	10
2 Methode	11
2.1 Type onderzoek	11
2.2 Databases en zoektermen	11
2.2.1 Osteopathic Research	12
2.2.2 Osteopathic Medical Digital Repository	13
2.2.3 Osteopathie Akademie	13
2.2.4 American Journal of the American Osteopathic Association	14
2.2.5 Journal of Osteopathic Medicine	14
2.2.6 Osteopathic Research Center Texas	14
2.2.7 Medline (Pubmed)	15
2.2.8 Cochrane Collaboration	15
2.3 Interviews	16
2.4 Tijdsbestek en werkwijze	16
3 Resultaten basiskennis	18
3.1 Anatomie	18
3.1.1 Het skelet	18
3.1.2 Macrostructuur	18
3.1.2.1 Vorm	18
3.1.2.2 Soorten botweefsel	19
3.1.3 Microstructuur	21
3.1.3.1 Cellulaire componenten	21
3.1.3.2 Extra cellulaire matrix	21
3.2 Fysiologie	23
3.2.1 Modelling en remodelling	23
3.2.1.1 Modelling	23
3.2.1.2 Remodelling	23
3.2.1.3 Kanalen van Haver	24
3.2.2 Van belasting tot grain optimalisatie	25
3.2.3 Botgroei	26

3.3 Biomechanica	27
3.3.1 Mechanical usage windows	27
3.4 Biotensegrity	29
3.4.1 Definitie	29
3.4.1.1 Vorm	29
3.4.1.2 Prestress	30
3.4.1.3 Hierarchie	30
3.4.2 Biotensegrity op macroniveau	30
3.4.3 Biotensegrity van macro naar micro	31
3.5 Mechanotransductie	32
3.5.1 De cel en extracellulaire matrix	32
3.5.1.1 Integrine	32
3.5.1.2 Cytoskelet	32
3.5.2 Cytoskelet in actie	33
3.5.3 Mechanotransductie en botadaptie	33
3.5.3.1 Mechanocoupling	33
3.5.3.2 Biochemical coupling	34
3.5.3.3 Signaal transmissie	34
3.5.3.4 Effector cel respons	34
3.6 Embryologie	35
3.6.1 Het skelet	35
3.6.1.1 Het mesodermaal kiemblad	35
3.6.1.2 Het axiaal skelet	35
3.6.1.3 Sternum en ribben	35
3.6.1.4 De ledematen	36
3.6.1.5 Het neurocranium	36
3.6.1.6 Het viscerocranium	37
3.6.2 De musculatuur	38
3.6.2.1 Glad- en hartspierweefsel	38
3.6.2.2 Skeletspierweefsel	38
3.6.3 Spieraanleg patroon	39
3.6.4 Metabolic fields	39
3.6.4.1 Densation fields	40
3.6.4.2 Detraction fields	40
3.6.4.3 Dilation field	41

3.6.5 Bot als actief component	42
4 Resultaten intraossaire literatuur	43
4.1 Definitie intraossaire dysfunctie	43
4.1.1 Terminologie	43
4.2 Eerder onderzoek	45
4.2.1 Muntinga	45
4.2.2 Thibault	46
4.2.3 Horton	47
4.2.4 Arcand	47
4.2.5 Brown	48
4.3 Intraossaire diagnostiek	49
4.3.1 Chauffour	49
4.3.2 Magoun	50
4.3.3 Heller	50
4.3.4 Davidson en Juhl	51
4.4 Intraossaire behandeling	52
4.4.1 Chauffour	52
4.4.2 Heller	52
4.4.3 Magoun	52
4.4.4 Jecmen	53
4.4.5 Davidson	53
4.4.6 Van der Geer	53
4.4.7 Buekens	54
4.4.8 Buskirk	55
4.5 Verklaringsmodellen	56
4.5.1 Chauffour	56
4.5.2 Burns	57
4.5.3 Capobianco	58
4.5.4 Jecmen	59
4.5.5 Heller	59
4.5.6 Segmentale relaties volgens Denslow, Korr, Buskirk, Howell en Willard	60
4.5.7 Rittweger	63
4.5.8 Buekens	64
4.5.9 Van der Geer	65
4.5.10 Noelmans	66
4.5.11 Evidentie mechanische druk op fluid flow	67

4.5.12 De Bakker	69
5 Slotbeschouwing	71
6 Conclusie	73
7 Discussie	75
Literatuurlijst:	78



## LIJST MET TABELLEN EN FIGUREN

---

### TABELLEN

Tabel 1 Gebruikte zoekresultaten	12
Tabel 2 Zoekresultaten Osteopathic Research	12
Tabel 3 Zoekresultaten Osteopathic Medical Digital Repository	13
Tabel 4 Zoekresultaten Osteopathie Akademie	13
Tabel 5 Zoekresultaten Journal of the American Osteopathic Organisation	14
Tabel 6 Zoekresultaten Journal of Osteopathic Medicine	14
Tabel 7 Zoekresultaten Osteopathic Research Center Texas	15
Tabel 8 Zoekresultaten Pubmed	15
Tabel 9 Zoekresultaten Cochrane	16
Tabel 10 Waardes voor regulatiedrempel bot	27
Tabel 11 Mechanical Usage Windows	28
Tabel 12 Derivaten van de pharynxzakken	38
Tabel 13 Behandelprincipes van der Geer	54

### FIGUREN

Figuur 1 Tubulair bot	18
Figuur 2 Tabulair bot	18
Figuur 3 Compact bot en spongieus bot	19
Figuur 4 Terminologie groeiend tibia	26
Figuur 5 Icosahedron	29
Figuur 6 Icosahedron als tensegrity structuur	29
Figuur 7 Montreal Biosphere	29
Figuur 8 Cel als tensegrity structuur	31
Figuur 9 Integrine en actine	32
Figuur 10 Stress generated potential	34
Figuur 11 De kieuwbogen	37
Figuur 12 Voortzetting van de kieuwbogen bij volwassenen	37
Figuur 13 Lateral somatic frontier	39
Figuur 14 Densation field	40
Figuur 15 Detraction field	41
Figuur 16 Detraction field van een distaal phalanx	41
Figuur 17 Dilation field	41
Figuur 18 Groei abductor pollicis	42
Figuur 19 Lines of force	49

## 1 INLEIDING

---

In mijn praktijkervaring, ter afsluiting van mijn opleiding tot osteopaat, stuitte ik en mijn co-docenten herhaaldelijk op de aanwezigheid van intraossaire dysfuncties. Zo ook bij een patiënt met schouderklachten, waar ik door de co-docent werd gewezen op een intraossaire dysfunctie rond de spina scapula. De intraossaire dysfunctie, buiten het craniosacraal systeem, was nog onbekend voor mij, op enkele vernoemingen en een drietal technieken tijdens de opleiding na. Ik wist niet wat een intraossaire dysfunctie inhield, hoe ik het kon vaststellen of kon behandelen. Naast dit gebrek aan kennis en inzicht was ik niet overtuigd of een intraossaire dysfunctie bestond en of deze dan ook te behandelen was. Dit gebrek aan inzicht en vertrouwen woog door naar de behandeling. Ik heb de behandeling met een gevoel van tekortkoming afgesloten en op een later tijdstip vernomen dat het klachtenpatroon van de patiënt onveranderd bleef. Mijn interesse naar het bestaan en de verklaring achter een intraossaire dysfunctie was gewekt. Een rondvraag bij enkele osteopathie opleidingen bevestigde dat ook daar geen tot weinig les werd gegeven over de intraossaire dysfunctie en werd door een enkeling het idee van een intraossaire dysfunctie verfoeid. Het bestaan van een intraossaire dysfunctie zou hierdoor betekenen dat de net afgestudeerde osteopaat onvoldoende handvatten in zijn curriculum heeft om deze vast te stellen en te behandelen. Tegelijkertijd wordt het bestaan van een intraossaire dysfunctie door sommige als omstreden ervaren, door een gebrek aan evidentie. Een verkennend literatuuronderzoek bevestigt het tekort aan klinische onderzoeken. Middels deze thesis wordt getracht de lezer een overzicht te geven van de beschikbare literatuur over intraossaire dysfuncties. Hiermee wordt inzicht gegeven in eerder onderzoek en verklaringsmodellen van een intraossaire dysfunctie en de gerapporteerde wijzen van diagnostiek en behandeling van een dergelijke dysfunctie. Bovenstaand doel wordt bewerkstelligd door het vormen van een literatuurwerk van de gevonden intraossaire literatuur, voorafgegaan door een deel basiskennis betreffende botweefsel. Op deze wijze wordt de osteopaat voorzien van de beschikbare literatuur betreffende de definitie, eerder onderzoek, de diagnostiek, de behandeling en verklaringsmodellen van een intraossaire dysfunctie. De getoonde literatuur is gevonden middels een gestructureerd literatuuronderzoek, aangevuld door interviews met osteopaten, docenten en professoren met affiniteit voor intraossaire dysfuncties of botweefsel. De thesis bestaat uit een methode, waarin staat beschreven hoe het literatuuronderzoek is uitgevoerd, gevolgd door de resultaten, slotbeschouwing, conclusie en discussie. In de resultaten staat eerst de basiskennis van botweefsel geordend, wat een fundament vormt voor de lezer voor de daarop volgende resultaten over intraossair specifieke literatuur. In de slotbeschouwing worden verschillende verklaringsmodellen naast elkaar gelegd om de overeenkomsten te accentueren. In de conclusie zal aan de hand van de resultaten per intraossair specifiek onderwerp een uitspraak worden gedaan over de consensus uit de expert opinions of evidentie uit klinisch onderzoek. Verdere interpretatie en limitaties van de resultaten uit dit onderzoek zijn vernoemd in de discussie, waaruit advies komt voor verder onderzoek.

## 2 METHODE

---

### 2.1 TYPE ONDERZOEK

---

Er is gekozen voor een explorerend onderzoek. De reden hiervoor was het ontbreken van voldoende evidentie na een verkennend literatuur onderzoek. Het onderzoek bestaat uit twee delen. Het eerste deel bestaat uit een weergave van basiskennis van botweefsel volgens de gebieden anatomie, fysiologie, biomechanica, biotensegrity, mechanotransductie en embryologie. Op deze wijze raakt de lezer ingelezen in principes welke verder zullen worden behandeld in het tweede deel van dit onderzoek. Het tweede deel van dit onderzoek is een weergave van literatuur gevonden over de definitie, eerder onderzoek, diagnostiek, behandeling en verklaringsmodellen rondom intraossaire dysfuncties. Het zoeken naar literatuur is gedaan middels deskresearch en fieldresearch. De deskresearch bestaat uit het verzamelen van de basiskennis en specifieke intraossaire literatuur uit boeken en research in databases. De fieldresearch bestaat uit het afnemen van interviews met osteopaten, docenten en onderzoekers met affiniteit voor botweefsel of intraossaire dysfuncties.

### 2.2 DATABASES EN ZOEKTERMEN

---

Er is gekozen om te zoeken in acht databases. Deze acht databases zijn gekozen op basis van de site van het COME collaboration. Het COME collaboration is een non-profit organisatie, welke als doel heeft om een internationale en multidisciplinaire samenwerking te faciliteren binnen wetenschappelijk onderzoek in de osteopathie. Hieronder zullen de databases kort worden besproken en de resultaten per zoekterm worden weergegeven in tabellen. Er is gekozen voor de zoektermen, zoals weergegeven in tabel 1. De hits die aan de hand van deze zoektermen uit de database kwamen zijn doorzocht op relevante publicaties. Of de artikelen relevant waren is beoordeeld aan de hand van de titel. Als de titel gerelateerd was aan een intraossaire dysfunctie of aan een principe gerelateerd aan een verklaringsmodel van een intraossaire dysfunctie, werd deze apart gezet. Artikelen over intraossaire technieken gerelateerd aan het craniosacraal systeem zijn niet geïnccludeerd. Hiervoor is gekozen, omdat de ligging nabij de hersenen en het liquor cerebrospinale systeem zorgen voor een beduidend ander verklaringsmodel. Zo worden intraossaire dysfuncties in het craniosacrale systeem gekoppeld aan principes zoals vagale activiteit, de synchondrosis sphenobasilaris, het primair respiratoire mechanisme en de neurohormonale structuren die rondom de ventrikels liggen (Capobianco, 2003). Deze verklaringsmodellen zijn specifiek voor het craniosacraal systeem en bieden genoeg stof voor een apart eindwerk. Tevens blijft de craniosacrale therapie een omstreden therapievorm vanwege de lage interbeoordelaars betrouwbaarheid in waarnemen van een craniosacraal ritme (Wirth-Pattulo & Hayes, 1994; Hanten et al. 1998; Rogers, Witt, Gross, Hacke & Genova, 1998; Green, Martin, Basset & Kazanjian, 1999), terwijl effectstudies juist een positieve verandering laten zien bij verschillende ziektebeelden (Haller et al. 2016; Jakel & von Hauenschild, 2012). Ook deze omstredenheid biedt genoeg stof voor een apart eindwerk. Van de geselecteerde artikelen uit de gestructureerde zoekmethode is het abstract gelezen om te beoordelen of de

publicaties bruikbaar waren. Bij elke database is onder de tabel aangegeven welke artikelen zijn geïncorporeerd in het onderzoek.

Tabel 1. Gebruikte zoektermen

Zoekterm
Intraossair OR intraosseous strain
Intraossair OR intraosseous techniques
Intraossair OR intraosseous dysfunction
Boney lesion (strain/restriction/dysfunction)
Compaction

---

### 2.2.1 OSTEOPATHIC RESEARCH

---

De site van Osteopathic Research richt zich op diploma thesissen en master thesissen. Ze streven naar meer evidentie voor de osteopathie, mede om zich te verantwoorden richting de zorgverzekeraar. Zij vinden het een gemis dat veel thesissen niet gepubliceerd worden en daardoor niet toegankelijk zijn. Hun doel is om deze bij elkaar te brengen in hun database. De database is toegankelijk via <http://www.osteopathicresearch.org/>

Tabel 2. Zoekresultaten Osteopathic Research

Zoekterm	Aantal hits
Intraossair OR intraosseous strain	0
Intraossair OR intraosseous techniques	1
Intraossair OR intraosseous lesion	0
Intraossair OR intraosseous dysfunction	0
Boney lesion (strain/restriction/dysfunction)	0
Compaction	1

Vanuit de twee gevonden hits bleek één publicatie relevant. Dit is de publicatie van Muntina uit 2013. Later in het literatuuronderzoek is middels de thesis van Muntinga een verscheidenheid aan andere literatuur gevonden, welke niet uit dit research protocol kwamen.

---

### 2.2.2 OSTEOPATHIC MEDICAL DIGITAL REPOSITORY

---

Osteopathic Medical Digital Repository is een osteopathische library gecreëerd door een samenwerking tussen College of Osteopathic Medicine en VTLS, een softwarebedrijf die databases mogelijk maakt. Deze onderneming is gesponsord door de American Osteopathic Association en de American Association of Colleges of Osteopathic Medicine. De database is toegankelijk via <https://ostemed-dr.contentdm.oclc.org/>

Tabel 3. Zoekresultaten Osteopathic Medical Digital Repository

Zoekterm	Aantal hits
Intraossair OR intraosseous strain	8
Intraossair OR intraosseous techniques	23
Intraossair OR intraosseous lesion	14
Intraossair OR intraosseous dysfunction	22
Boney lesion (strain/restriction/dysfunction)	20
Compaction	3

Ondanks de grotere aantallen in hits, zijn er twee bruikbare artikelen gevonden (Davidson 2005, Juhl 2005). De andere hits gingen over afwijkende onderwerpen, zoals intraossaire zenuwuiteinden en intraossaire technieken op het cranium bij baby's.

---

### 2.2.3 OSTEOPATHIE AKADEMIE

---

Osteopathie Akademie is een Duitse site van een overkoepelende organisatie in Duitsland, welke zich bezig houdt met de beoordeling van thesissen in Duitsland. Zij houden een database bij van wetenschappelijke eindwerken. De database is toegankelijk via <http://www.osteopathic-research.com/cgi-bin/afo/Search.pl>

Tabel 4. Zoekresultaten Osteopathie Akademie

Zoekterm	Aantal hits
Intraossär OR intraosseous strain	0
Intraossär OR intraosseous techniques	0
Intraossär OR intraosseous lesion	0
Intraossär OR intraosseous dysfunction	0
Boney lesion (strain/restriction/dysfunction)	0
Compaction	0

De zoekopdrachten gaven geen hits.

---

## 2.2.4 AMERICAN JOURNAL OF THE AMERICAN OSTEOPATHIC ASSOCIATION

---

Dit is de site van een groot tijdschrift over osteopathie in Amerika. De site houdt een database bij van artikelen, gepubliceerd in het tijdschrift. De database is toegankelijk via [www.jaoa.org](http://www.jaoa.org)

Tabel 5. Zoekresultaten Journal of the American Osteopathic Association

Zoekterm	Aantal hits
Intraossär OR intraosseous strain	5
Intraossär OR intraosseous techniques	7
Intraossär OR intraosseous lesion	4
Intraossär OR intraosseous dysfunction	9
Boney lesion (strain/restriction/dysfunction)	2
Compaction	16

Uit deze zoekopdrachten kwamen dezelfde artikelen naar voren van Davidson en Juhl, zoals ook bij de Osteopathic Medical Digital Repository.

---

## 2.2.5 JOURNAL OF OSTEOPATHIC MEDICINE

---

Journal of Osteopathic Medicine is een een peer-reviewed tijdschrift dat artikelen en onderzoeken van hoge kwaliteit publiceert. De database is toegankelijk via <https://www.journalofosteopathicmedicine.com/>

Tabel 6. Zoekresultaten Journal of Osteopathic Medicine

Zoekterm	Aantal hits
Intraossär OR intraosseous strain	0
Intraossär OR intraosseous techniques	0
Intraossär OR intraosseous lesion	2
Intraossär OR intraosseous dysfunction	2
Boney lesion (strain/restriction/dysfunction)	1
Compaction	0

Uit de hits zijn geen bruikbare artikelen gekomen.

---

## 2.2.6 OSTEOPATHIC RESEARCH CENTER TEXAS

---

Het Osteopathic Research Center in Texas is een centrum voor de wetenschap in de gezondheid, oorspronkelijk opgezet als een opleiding tot osteopaat, 40 jaar terug. De database is toegankelijk via [www.hsc.unt.edu/orc](http://www.hsc.unt.edu/orc)

Tabel 7. Zoekresultaten Osteopathic Research Center Texas

Zoekterm	Aantal hits
Intraossär OR intraosseous strain	1
Intraossär OR intraosseous techniques	1
Intraossär OR intraosseous lesion	1
Intraossär OR intraosseous dysfunction	1
Boney lesion (strain/restriction/dysfunction)	1
Compaction	1

Uit de hits zijn geen bruikbare artikelen gekomen.

---

### 2.2.7 MEDLINE (PUBMED)

---

Pubmed is een veelgebruikte en grote database, opgezet in Amerika, maar ondertussen een database voor artikelen die wereldwijd worden gepubliceerd. De database is toegankelijk via [www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi)

Tabel 8. Zoekresultaten Pubmed

Zoekterm	Aantal hits
Intraossär OR intraosseous strain	9
Intraossär OR intraosseous techniques	33
Intraossär OR intraosseous lesion	972
Intraossär OR intraosseous dysfunction	369
Boney lesion (strain/restriction/dysfunction)	11
Compaction	8265

Uit de hits zijn twee bruikbare artikelen gekomen over fluid flow in bot (Wu et al. 2016; Hong, Sang, Khang & Seung Mun, 2008). Zoektermen zoals Intraosseous lesion, intraosseous dysfunction en compaction zijn doorzocht tot bladzijde 10 van de zoekresultaten. Veel publicaties waren niet gerelateerd aan het onderwerp en gingen over intraossaire injecties, botkanker, intraossaire infuus en orthopedische ingrepen bij botbreuken.

---

### 2.2.8 COCHRANE COLLABORATION

---

Cochrane is een database met review artikelen van reguliere medische klinische trials. De database is toegankelijk via [www.york.ac.uk/inst/crd/crddatabases.htm](http://www.york.ac.uk/inst/crd/crddatabases.htm)

Tabel 9. Zoekresultaten Cochrane

Zoekterm	Aantal hits
Intraossär OR intraosseous strain	0
Intraossär OR intraosseous techniques	0
Intraossär OR intraosseous lesion	0
Intraossär OR intraosseous dysfunction	0
Boney lesion (strain/restriction/dysfunction)	3
Compaction	40

Uit de hits zijn geen bruikbare artikelen gekomen.

## 2.3 INTERVIEWS

---

Interviews zijn afgenomen met verschillende doeleinden. Deze doeleinden waren: het aanvullen van de beperkte specifieke intraossaire literatuur die gevonden is tijdens de deskresearch met expert-opinions en het vergaren van principes binnen de verklaringsmodellen van intraossaire dysfuncties. Met het verkrijgen van nieuwe principes gerelateerd aan intraossaire dysfuncties is gaandeweg het onderzoek opnieuw literatuur onderzoek gedaan naar deze principes en zo additionele literatuur gevonden. Voorbeelden hiervan zijn zoekopdrachten gedaan naar ‘hidden bonds and sacrificial length mechanism’ en ‘fluid flow’. Voorafgaande aan het interview zijn vragen opgesteld, afgestemd op de geïnterviewde. Er is geen eenduidig format opgesteld met vragen, omdat de geïnterviewden varieerden van osteopaten met affiniteit voor intraossaire technieken tot onderzoekers naar botweefsel. De interviews zijn afgenomen via skype, telefoongesprek, e-mail of in persoon. De vooraf opgestelde vragen zijn hier gebruikt als rode draad en checklist om af te gaan of alle benodigde gebieden in het gesprek zijn besproken. De gesprekken zijn ingegaan met uitgangspunt dat er een dialoog ontstaat, meer dan een interview met vraag en antwoord. Antwoorden van de geïnterviewden riepen de behoefte op om door te vragen. Op deze wijze is er geen vast script gevolgd om zo de geïnterviewden de ruimte te geven uit te wijden en diepgang te creëren binnen intraossaire principes. De interviews zijn opgenomen en getranscribeerd of samengevat. De transcripties en audiobestanden zijn op te vragen bij de auteur van dit eindwerk. Deze is te benaderen via het e-mailadres; Jobvd Klein@hotmail.com. De transcripties en samenvatting zijn nagelezen door de geïnterviewden. De geïnterviewden zijn akkoord gegaan met de transcripties, samenvattingen en referenties die hier naar zullen verwijzen.

## 2.4 TIJDSBESTEK EN WERKWIJZE

---

Medio maart 2018 is begonnen met verkennend onderzoek naar mogelijke onderwerpen voor het eindwerk. In april 2018 is er in overleg met de promotor gekozen onderzoek te



doen naar een verklaringsmodel voor de invloed van intraossaire technieken op spierspanning. Tijdens de maanden hierop volgend is verder verkennend onderzoek gedaan naar dit onderwerp. Tijdens dit literatuuronderzoek is er vastgesteld dat de beschikbare literatuur niet afdoende was om deze vraagstelling te beantwoorden. Daarom is er gekozen voor het verbreden van de doelstelling van dit onderzoek en is de huidige doelstelling opgesteld. In de maanden hierop volgend is er voorbereidend literatuuronderzoek gedaan in het teken van het voorstel tot diplomering. De gevonden literatuur is samengevat in een apart document. Het voorstel tot diplomering is 4 november 2018 ingediend en op 15 november 2018 goed bevonden. De samenvattingen zijn aangevuld met de literatuur die gevonden is volgens het gestructureerd literatuuronderzoek, zoals beschreven in deze methode. Een selectie van de samenvattingen betreffende de basiskennis en intraossaire literatuur is gemaakt en verwerkt in de resultaten van dit eindwerk. De interviews zijn afgenomen in de periode van 11 november 2018 tot en met 21 maart 2019. Tot de deadline voor het concept op 1 juni 2019 zijn vijf feedbackmomenten geweest met de promotor. Deze hebben plaats gevonden via de e-mail of een samenkomen.

## 3 RESULTATEN BASISKENNIS

---

### 3.1 ANATOMIE

---

#### 3.1.1 HET SKELET

---

Het skelet wordt gezien als het frame voor aanhechtingspunten voor spieren en is daarmee een belangrijk aspect voor het musculoskeletaal systeem. Tevens is het de kapstok voor organen en biedt het tegelijkertijd bescherming aan vitale organen zoals het hart en de longen. Naast deze meer voor de hand liggende functies dient botweefsel als opslagplaats voor mineralen, zoals calcium en bevat bot hematopoëtische cellen. Hierdoor is bot betrokken bij vorming van bloedcellen en het calcium huishouden, wat op zichzelf weer van groot belang is voor een verscheidenheid aan homeostatische processen, zoals celgroei en hormoonhuishouden (Magee, 2007).

#### 3.1.2 MACROSTRUCTUUR

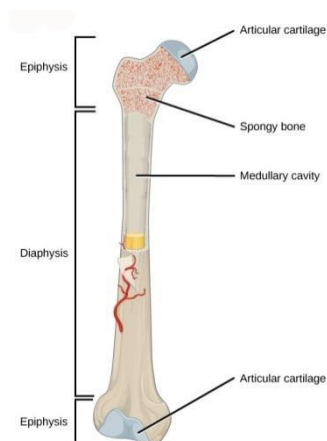
---

Botten komen in verschillende maten en vormen voor in het lichaam. Aan de hand van de vorm is bot in te delen in drie groepen (Currey, 2002).

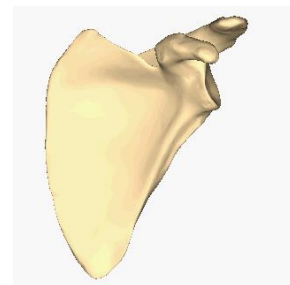
##### 3.1.2.1 VORM

---

De tubulaire botten of pijpbeenderen zijn herkenbaar aan hun lange pijpvorm met aan de distale en proximale einden een verbreding van spongieus bot, welke onderdeel zullen uitmaken van de synoviale gewrichten (figuur 1). De lange pijp is de diafyse, waarbij de verbrede uiteinden de epifyse vormen. Op de grens tussen epifyse en diafyse ligt de metafyse. Tussen de metafyse en epifyse ligt de epifysairschijf, de groeischijf. De diafyse bestaat uit compact been, waarbij de buitenkant wordt bekleed door periosteum. Periosteum bestaat uit een externe fibreuze laag en een interne laag, het cambium. Waar in



**Figuur 1 Tubulair bot.** Overgenomen van Wikipedia Contributors (2013). [https://en.wikipedia.org/wiki/Long\\_bone](https://en.wikipedia.org/wiki/Long_bone)

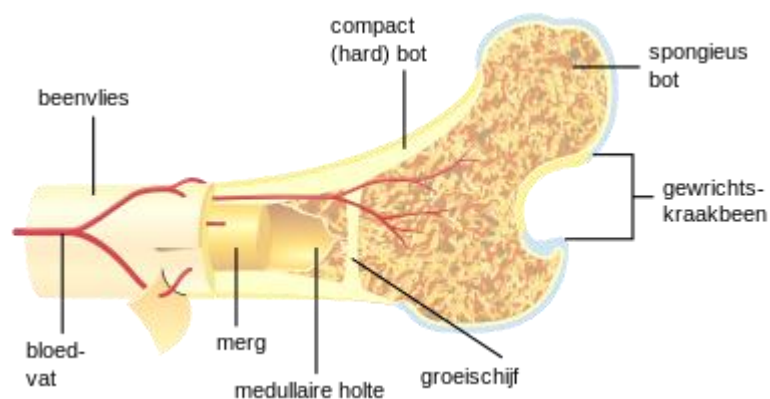


**Figuur 2 Tabulair bot.** Overgenomen van Wikipedia Contributors (2012). <https://en.wikipedia.org/wiki/Scapula>

de fibreuze laag fibroblasten aanwezig zijn, is het cambium rijk aan voorlopercellen van de chondrblasten en osteoblasten. Het periosteum is rijk aan vascularisatie en innervatie. Dit maakt het periosteum een sensitief gevoelig weefsel, wat de capaciteit heeft om te ontsteken. Het periosteum is sterk aan het botweefsel verbonden middels de vezels van Sharpey. De harde buitenlaag van de diafyse wordt gevormd door compact bot, wat van binnen wordt gevuld door spongieus bot, welke beenmerg bevat. De grenslijn tussen compact bot en spongieus bot wordt bekleed door het endosteum. De tweede groep bestaat uit de korte botten. Korte botten zijn herkenbaar aan het gegeven dat ze even breed zijn als lang. Voorbeelden van korte botten zijn de ossa metatarsalia. Door hun vorm zijn deze botten uiterst geschikt voor grote draagkracht en bieden steun en stabiliteit, zonder veel bewegingsmogelijkheid. Korte botten bestaan uit compact bot. Tabulaire botten omvatten de derde groep. Tabulaire botten zijn platte botten, waarbij de buitenzijde wordt gevormd door compact bot. Tussen deze twee compacte platen bevindt zich spongieus botweefsel. Voorbeeld van tabulaire botten zijn het scapula (figuur 2) en het sternum. Sommige botten, zoals een wervel, zijn een combinatie van bovengenoemde vormen (Currey; 2002).

### 3.1.2.2 SOORTEN BOTWEEFSEL

Alhoewel botweefsel als macrostructuur vrijwel overal hetzelfde lijkt, zijn er histologische differentiaties die bepalend zijn voor mechanische en homeostatische functies. Als er gekeken wordt op weefselniveau kan er onderscheid gemaakt worden tussen plexiform, lamellair primair en lamellair secundair botweefsel (Currey, 2002; Morree, 2009). Plexiform bot is weefsel wat snel wordt aangelegd. Het is kenmerkend door een gevlochten en ongeorganiseerde aanleg. Plexiform bot is ruim terug te vinden bij de fetus en pas gevormd bot, zoals bij callus vorming na een breuk of trauma. Het ongeorganiseerde patroon van de weefselrichting en lage hoeveelheid van niet collagene eiwitten zorgen ervoor dat plexiform botweefsel weinig mechanische weerbaarheid heeft, vergeleken met lamellair botweefsel. Plexiform botweefsel is doorgaans niet terug te vinden in een volgroeid skelet, met



**Figuur 1. Compact en spongieus bot.**  
 Overgenomen van Wikipedia Contributors (2008).  
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Botweefsel>

uitzondering van de groeischijf, callus vorming bij fractuur en enkele pathologieën. Tijdens de groei wordt plexiform bot vervangen door primair lamellair botweefsel. Dit voorziet het skelet van zijn gepaste hardheid en weerbaarheid tegen krachten die er op inspelen. Lamellair bot wordt altijd aangelegd over reeds bestaand weefsel, zoals kraakbeenweefsel of het bovengenoemde plexiforme botweefsel. Lamellair bot bestaat uit verschillende lagen, lamellae, welke georganiseerde patronen vormen die geschikt zijn om grotere inwerkende krachten te weerstaan (Currey, 2002). Primair lamellair bot is in te delen in spongieus en compact bot (Magee, 2007). Deze laatste onderverdeling is van mechanische relevantie. Compact bot is solide en stevig, met weinig open ruimtes, enkel voor osteocyten en vascularisatie. Spongieus bot vertoont trabeculae met onregelmatige ruimtes, wat het totaal oppervlakte vergroot. De dichtheid van spongieus bot is dan ook aanzienlijk lager dan die van compact bot. Dit resulteert in een flexibel, maar minder stressbestendig weefsel. De vergrote oppervlakte maakt spongieus bot geschikt voor metabolische activiteiten, zoals de uitwisseling van calcium ionen. Dat spongieus bot goed gevasculariseerd is draagt bij aan deze metabolische activiteit. Spongieus bot is rijk aan beenmerg en hematopoëtische stamcellen welke later de rol zullen vervullen van trombocyten, erythrocyten en leukocyten. Spongieus bot wordt op vele plekken aangetroffen. Om een onderscheid te maken kunnen de locaties van spongieus bot in de volgende vijf groepen worden ingedeeld (Currey, 2002):

- Aan het eind van tubulaire botten, dicht onder de synoviale gewrichten
- De vulling van korte botten
- De vulling van platte botten
- Protuberantiae, aanhechtingsplekken van pezen en ligamenten
- Medulaire caviteit van sommige tubulaire botten

Waar spongieus bot uit trabeculae en onregelmatige ruimtes bestaat, wordt compact bot gevormd door een enorme hoeveelheid aan microscopische kolommen, osteonen genoemd. Osteonen worden van elkaar gescheiden door cementlijnen (Robling & Stout, 1999). Bij primair lamellair bot zijn de osteonen zeer sterk en bieden grote weerstand tegen trek- en compressiekrachten. Hierdoor is het ideaal om grote krachten te weerstaan en het verbuigen van tubulaire botten tegen te gaan. Bij beschadiging of opruiming van lamellair bot wordt deze vervangen door secundair lamellair bot. Dit gebeurt door remodelling. Hierbij ontstaan er secundaire osteonen welke in hun kolommen een vascularisatie met zich meebrengen, genaamd het kanaal van Havers. Deze systemen van Havers zijn mechanisch gezien inferieur aan de primaire osteonen en worden secundaire osteonen genoemd. Er zijn vier type secundaire osteonen bekend (Robling & Stout, 1999). Het type I osteon, type II osteon, 'double zonal' osteon en drifting osteons. Type I is de meest voorkomende en wordt gekenmerkt door een ononderbroken lamellae om het Haversiaans kanaal. Het type II is een smaller osteon dan het type I secundaire osteon, welke zich lijken te vormen in een al bestaande secundaire osteon, maar de cementlijn niet voorbij gaat. De 'double zonal' osteon is identiek aan die van de type I, behalve dat door een andere uitwerking van de matrix tijdens formatieperiode van de BMU er een sterk gecalcificeerde ring ontstaat binnen de lamellae. De drifting osteon wordt gedefinieerd als een Haversiaans systeem, waar een

constante resorptie plaats vindt aan de ene kant en een constante formatie aan de andere kant. Hierdoor lijkt de drifting osteon zich te verplaatsen over de tijd (Robling & Stout, 1999).

---

### 3.1.3 MICROSTRUCTUUR

---

Als we verder zouden inzoomen op botweefsel op cellulair niveau, zouden we botweefsel kunnen indelen in cellen en extracellulaire matrix (Magee, 2007).

#### 3.1.3.1 CELLULAIRE COMPONENTEN

---

In botweefsel zijn er een viertal cellen te vinden (Currey, 2002; Magee, 2007), waarbij drie verantwoordelijk zijn voor het aanleggen en afbreken van botweefsel. De osteoblast en osteocyt zijn verantwoordelijk voor het aanleggen van nieuw botweefsel. Deze twee cellen zijn te onderscheiden aan de hand van hun locatie en functie. De osteoblast is leidend in het aanleggen van botweefsel en bevindt zich aan het benig oppervlak. Op momenten dat de osteoblast inactief is, zal het dan ook een bot aflijnende cel vormen. Als een osteoblast actief is en zich volledig met botweefsel heeft omgeven gaat deze over tot een osteocyt. Vanaf dat moment verandert de cel tevens van functie. Middels canaliculi staat het in contact met andere osteocyten waarbij het mineralen, voedingsstoffen en afvalstoffen uitwisselt. De aanwezigheid van deze verbindingen suggereert dat de osteoblasten en osteocyten een functioneel syncytium vormen, welke een rol speelt binnen verschillende fysiologische functies, waaronder het omzetten van mechanische signalen in remodelling activiteit en een beweging van mineralen in en uit botweefsel (Weinbaum, Cowin & Zeng, 1994; Currey, 2002; Cowin, 2002; Rubin & Rubin, 2014; Wu et al. 2016). Het derde type cel is de osteoclast en deze is verantwoordelijk voor de afbraak van botweefsel. Osteoclasten zijn grote cellen met meerdere nucleï met verschillende cytoplasmatische extensies die duiden op grote cell mobiliteit. De osteoclast bewerkstelligt de afbraak middels celresorptie (Magee, 2007). Het vierde type cel is de aflijnende cel. Aflijnende cellen zijn de cellen die de oppervlakten van bot bedekken. Ze vormen een consistente laag die aan de externe zijde het periosteum genoemd wordt. Aan de interne zijde, de mergzijde van het bot, wordt deze het endosteum genoemd (Currey, 2002).

#### 3.1.3.2 EXTRA CELLULAIRE MATRIX

---

Bot matrix bestaat uit drie elementen; organisch materiaal, mineralen en vloeistof (Currey, 2002). Organische componenten omslaan 39% van het totale botvolume, welke 95% type I collageen bevatten en voor 5% proteoglycanen. Voor de helft is de matrix gevuld met mineralen, welke voornamelijk calcium hydroxyapatite kristallen zijn. Met vloeistof gevulde vasculaire kanalen en cellulaire ruimtes omvatten het resterende volume. Het collageen in deze matrix wordt gevormd door procollageen, welke afkomstig is van de osteoblasten. Deze procollagenen vervlechten zich samen en vormen tropocollageen en vormen onderling sterke verbindingen, cross linkings genoemd. Het collageen vormt de primaire structurele ondersteuning van elk bindweefsel en speelt in botweefsel ook een grote rol in mechanische stressbestendigheid. De mineralen in de matrix onderscheiden botweefsel van andere soorten weefsel doordat het de karakteristieke stijfheid geeft aan bot en zorgt voor een buffer voor mineralen, zoals calcium (Magee, 2007). Er is nog onduidelijkheid of deze mineralen zich rondom of in de collageene structuren bevinden (Currey, 2002). Ook meer

dan 200 soorten niet-collagene eiwitten zijn te vinden in de matrix. Deze eiwitten zijn betrokken bij celdifferentiatie, celadhesie, organisatie van de matrix en moduleren van de resorptie processen gerelateerd aan calcium homeostase (Currey, 2002).

## 3.2 FYSIOLOGIE

---

### 3.2.1 MODELLING EN REMODELLING

---

De wet van Wolff is een veel gehanteerde wet als het gaat om aanpassingen binnen botweefsel. Veel onderzoek is gedaan naar dit principe. De wet van Wolff beschrijft de aanpassingen van weefsel naar gelang de belasting die op het weefsel is uitgevoerd. Bekende voorbeelden zijn de aanpassingen aan botweefsel bij tennissers, vergeleken bij niet tennissers. Hier is een significant hogere botdensiteit te vinden bij de tennissers (Emin, Ownes, Ford & Bass 2012). Om dit fenomeen te verklaren zal er gekeken moeten worden naar de principes van modelling en remodelling.

#### 3.2.1.1 MODELLING

---

Modelling onderscheidt zich van remodelling doordat modelling niet absoluut gebonden is aan de resorptie vanuit de osteoclasten, maar ook zonder resorptie kan overgaan tot aanleg van botweefsel. Bij volwassenen komt modelling minder vaak voor dan remodelling (Dempster, 2006). Door middel van modelling kan zowel de vorm als grootte van het bot worden gemodificeerd, betekende dat er bot wordt weggehaald of toegevoegd bij de periostale of endostale oppervlakten (Currey, 2002; Morree, 2009). Modelling van bot heeft op den duur primaire osteonen tot gevolg, welke bestaan uit primair lamellair weefsel en heeft daarmee een verhoging van mechanische weerbaarheid als gevolg (Frost, 2003). Een voorbeeld van modelling is dan ook het eerder genoemde voorbeeld van de tennissers (Emin et al. 2012).

#### 3.2.1.2 REMODELLING

---

Een opmerkelijke eigenschap van bot is het vermogen om zich constant te hervormen of aan te passen door het proces modelling en remodelling. Waar modelling nieuw weefsel aanlegt, wat later het primaire botweefsel zal vormen, is remodelling een proces dat dit weefsel zal vervangen in het geval van schade (Morree, 2009). Deze aanpassingen van het bot aan de belasting wordt gedaan door een verzameling cellen die worden aangeduid als de 'Bone Remodelling Unit' (BRU) of 'Basic Multicellular Unit' (BMU). Anders dan bij modelling heeft remodelling geen effect op de vorm en grootte van het bot (Currey, 2002) en zal eerder een afname hebben van mechanische belastbaarheid (Frost, 2003). Er zijn vier onderscheidende fases in de cyclus van remodelering; activatie, resorptie, reversal en formatie. Activatie omschrijft de initiërende prikkel om de cascade van processen van remodelling te starten (Dempster, 2006). Dit kan een externe prikkel zijn die bot dermate aantast dat er een aanpassing of reparatie nodig is, maar vaak is dit een willekeurig proces (Rubin & Rubin, 2014). De voorlopercel van de osteoclast bindt zich aan het botmatrix en vormt een ringvormig en afgezet gebied. Hierdoor wordt een compartiment gecreëerd met de opzet voor de resorptiefase (Frost, 1994). Tijdens de resorptie worden er middels actieve protonpompen protonen naar het compartiment vervoerd, waardoor de Ph-grad aanzienlijk daalt tot een Ph van 4.0. De afbraak door zuur wordt hierbij vergezeld door de aanmaak van lysosomale enzymen zoals TRACP, Cathepsin K en collagenase (Dempster, 2006). De zure oplossing verteert de mineralen en de organische stoffen. Hierdoor ontstaan

inkepingen die de 'lacunae van Howship' worden genoemd. De resorptiefase eindigt met de apoptose van de osteoclasten en daarmee start de reversal fase (Dempster, 2006). Tijdens deze fase worden de lacunae gevuld door osteocyten en pre-osteoblasten, die zijn bevrijd uit het botweefsel door de osteoclasten. De voornaamste functie van deze fase is het aantrekken van de osteoblasten naar de lacunae, om zo het bot dat weg is gehaald te vervangen. Door het aantrekken van de osteoblasten is de fase van de formatie begonnen. De osteoblasten verzorgen hier de organische matrix en reguleren de mineralisatie van deze matrix. Dit doen zij door het vrijlaten van membraangebonden vesikels die de omstandigheden geschikt maken voor de aanleg van calciumionen, fosfaationen, enzymen en proteoglycanen. Gaandeweg de formatie vormen de osteoblasten zich om tot osteocyt in het botweefsel. Elke osteocyt heeft onderling contact en vormt zo een syncytium, welke in staat is om mechanische belasting waar te nemen en door te zetten naar cellen aan het oppervlak. Deze groepering cellen en hun functie hebben zo hun gelijkenis aan een neuronaal netwerk. Naast het omvormen tot osteocyten zal 50% tot 70% van de osteoblasten ten onder gaan door apoptose en de rest wordt opgeslagen als botaflijnendecellen. Het resultaat van remodelling is een secundair osteon (Currey, 2002; Dempster, 2006). Specifiek voor dit secundair osteon is de aanwezigheid van een kanaal van Haver, welke de lacunae van de osteoclastische activiteit opvult (Robling & Stout, 1999; Currey, 2002). Een voorbeeld van remodelling is het opruimen van microcracks bij langdurige overbelasting (Frost, 1994). Maar ook bij inactiviteit, zoals langdurige bedrust (Han et al. 2018), wordt de remodelling aangezet (tabel 9)(Frost, 1994).

### 3.2.1.3 KANALEN VAN HAVER

---

Zoals eerder genoemd is een secundair osteon onderscheidend aan een primaire osteon door de aanwezigheid van een kanaal van Haver (Robling & Stout, 1999; Currey, 2002). Ook is een secundair osteon op basis van mechanische weerbaarheid ondergeschikt aan een primair osteon (Currey, 2002). Dit heeft bij verschillende onderzoekers de vraag opgeroepen waarom deze secundaire osteonen worden aangelegd (Currey, 2002). Vele theorieën zijn voorgesteld, waarvan de twee meest waarschijnlijke theorieën hier beneden zullen worden beschreven. De eerste aannemelijke verklaring is het vervangen van bot, waar microcracks aanwezig zijn. Alhoewel primaire osteonen sterker zijn dan secundaire osteonen, zullen zij hun weerstand tegen compressie- en trekkrachten verliezen als de consistentie wordt onderbroken door microcracks. Het vervangen van de primaire osteonen door de secundaire osteonen zou dan alsnog een betere weerstand tegen compressie- en trekkrachten bieden (Currey, 2002). De tweede verklaring is dat er een verandering van grain zichtbaar is bij secundaire osteonen, ten opzichte van primaire osteonen. Grain is de vezelrichting die waar te nemen is in bot (Currey, 2002). Een grain in het verlengde van compressie- en trekkrachten zorgt voor een grote toename van weerbaarheid van het bot tegen die belasting (Currey, 2002). Een primair osteon kan mechanisch superieur zijn aan een secundair osteon, maar bij een verandering van belasting, welke niet meer volgens de grain op het bot inspeelt, zal remodelling met een secundair osteon als gevolg hebben (Currey, 2002).



---

### 3.2.2 VAN BELASTING TOT GRAIN OPTIMALISATIE

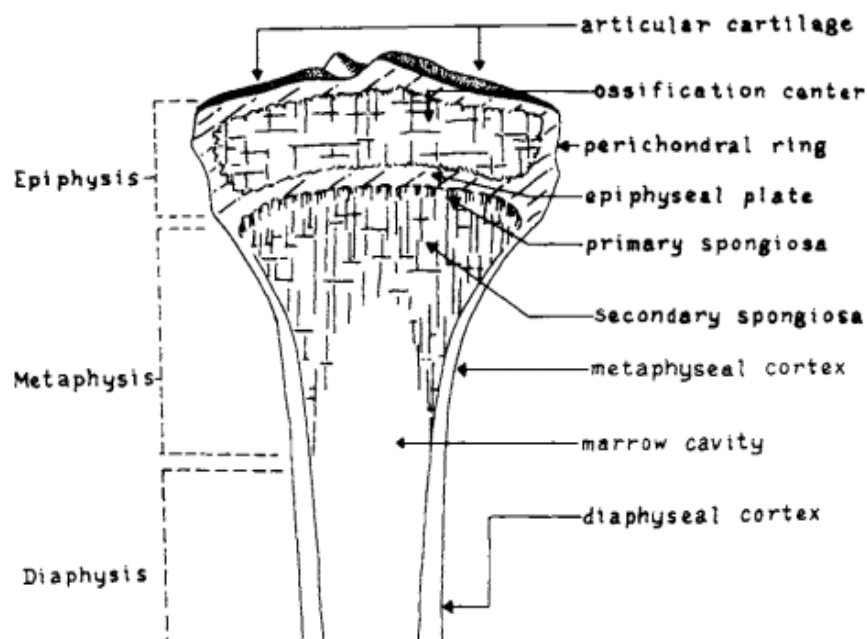
---

Het aanpassen van de grain is een voorbeeld voor de wet van Wolff, waarbij het weefsel zich aanpast naargelang de krachten die op het weefsel inwerken. Wat zijn echter de stappen tussen de krachten die inspelen op het weefsel en het resultaat: de aanpassing van het weefsel? Voordat aan de modelling en remodelling begonnen kan worden moeten de cellen informatie hebben over de toestand van weefsel en de belasting die er op wordt gelegd. Zoals eerder besproken vormen de osteocyten een netwerk van waarnemende cellen die gevoelig zijn voor vervormbaarheid onder belasting (Weinbaum, Cowin & Zeng, 1994; Currey, 2002; Cowin, 2002; Rubin & Rubin, 2014; Wu et al. 2016), uitgedrukt als strain. In een artikel van Rubin en Rubin (2014) wordt het als volgt beschreven: "Appreciation of the fact that 95% of the bone cells in the adult skeleton are osteocytes has stimulated consideration of their role in defining the mechanosensitivity of the skeleton. The sequestered osteocyte, although losing size and organelles in differentiation from the osteoblast, adopts a new phenotype that allows connection to a dense network of other osteocytes and bone lining cells through cytoplasmic extensions that radiate outward from the central vascular canal. These interconnecting canaliculi may be pathways for chemical, electrical, and stress-generated fluid communication through the dense bone matrix. The antenna-like three-dimensional morphology of this osteocyte syncytium is, theoretically, ideally configured to perceive and perhaps even amplify biophysical stimuli." Veel onderzoekers geven de voorkeur aan een informatieoverdracht in de vorm van elektrische signalen. Er is dan ook een grote evidentie dat elektrische potentialen een grote rol spelen in de modelling en heling van fractures (Cowin, 2002). Verschillende verklaringsmodellen rondom deze potentialen worden geschaard onder de term stress-generated potentials (Dillaman, Roer & Gay, 1991; Weinbaum, Cowin & Zeng, 1994; Currey, 2002; Cowin, 2002; Wu et al. 2016). Waar vloeistof tegen het oppervlak van een vaste stof ligt, is een tweedeling te zien in geladen ionen, waarbij positief geladen kationen zich dichtbij het vaste oppervlak bevinden en de negatief geladen anionen zich vrijer kunnen bewegen in de vloeistof, verder verwijderd van het oppervlak van de vaste stof. Deze verdeling van lading zorgt voor een elektrisch potentiaal. Dit potentiaal zal zich over de aflijning van de vaste stof verspreiden (Currey, 2002)(Turner & Pavalko, 1998). Bij belasting op een bot, wat vrijwel nooit zuiver axiaal gebeurt, zal er een buiging plaatsvinden. Uit een onderzoek van Lanyon en Hartman (1977) komt naar voren dat als een bot belast wordt, de zijde waar een trekkracht ontstaat positief geladen wordt en de zijde waar de compressie ontstaat negatief geladen wordt. De osteocyten en osteoblasten in bot zijn gevoelig voor de strain en het elektrisch potentiaal. Als reactie geven de osteocyten prostaglandinen vrij die de remodelling in gang zetten. De osteoblasten geven een aanzet tot een cascade van reacties, welke de  $Ca^{2+}$  concentratie in de cel verhogen en veranderingen teweeg brengen in het cytoskelet (Currey, 2002). Een ander voorbeeld van stress-generated potential is het piëzo-elektrisch effect. Meyers (2009) beschrijft het piëzo-elektrisch effect als een regel die de osteoblasten en osteoclasten volgen. De osteoblasten leggen bot neer waar ze willen en de osteoclasten breken alles af, wat geen potentiaal over zich heeft of elektrisch geladen is. Doordat er een groot beroep wordt gedaan op het botweefsel met de grain in de richting van de belasting wordt dit weefsel elektrisch geladen en zal niet worden aangetast door de osteoclasten. Het botweefsel wat niet wordt aangesproken zal worden aangetast door de osteoclasten en zal

middels remodelling worden hervormd. Het is onduidelijk of de stress generated potential in betekenis hetzelfde is als een piëzo-elektrisch effect. In geen publicatie of boek wordt hier een uitspraak over gedaan. Wel beschrijven Ahn en Grodzinsky (2009) een piëzo-elektrisch effect als “applied stress generated local potential gradients along the collagen fiber and thus provided a local stimulus for bone-generating cells”. Dit zou doen vermoeden dat een stress generated potential en een piëzo-elektrisch effect niet veel van elkaar verschillen en mogelijk dezelfde betekenis hebben.

### 3.2.3 BOTGROEI

De botgroei vindt plaats tussen de epifyse en de metafyse, richting de diafyse (Currey, 2002; Magee, 2007). Hier bevinden zich mesenchymale cellen die zich delen in chondroblasten. Deze deling vormt een opstelling van horizontale en verticale septae (Frost, 1994). Deze septae zijn zowel horizontaal als verticaal van elkaar gescheiden door chondrale matrix, waarbij de oudst gevormde cellen zich in de onderste horizontale septae bevinden. Dit geheel zal de groeischijf vormen en deze cellen en matrix worden gezien als kraakbeen. De oudste kraakbeenlagen, namelijk die van de onderste horizontale septae, gaan zich mineraliseren. Capillairen en chondroclasten net onder de groeischijf resorberen delen van de horizontale septae en creëren zo verticale tunnels, waarbij het overgebleven gemineraliseerd kraakbeen de muren vormt van deze tunnels. Dit is het voorstadium van de trabeculae (Frost, 1994). In de overgebleven verticale septa begint zich plexiform botweefsel te ontwikkelen en ontstaat het primaire spongieus botweefsel (figuur 4). De nu gevormde trabeculae zijn minder frequent, dikker en verder van elkaar verwijderd. Dit pas gevlochten bot heeft tijd nodig om verder te mineraliseren en zijn stijfheid te verkrijgen. Door middel van mineraliseren en remodelling wordt het plexiform botweefsel vervangen door lamellair botweefsel en ontstaat het secundair spongieus botweefsel wat als het permanente spongieus botweefsel kan worden gezien (Frost, 1994).



Figuur 2 Terminologie groeiend tibia (Frost, 1994)

### 3.3 BIOMECHANICA

---

#### 3.3.1 MECHANICAL USAGE WINDOWS

---

Het is duidelijk dat botten reageren op de belasting die op hen inwerken. Hieronder zullen enkele mechanische eigenschappen van bot worden beschreven om een duidelijker inzicht te krijgen in de variabelen van de belasting, die nodig zullen zijn voor modellering en remodelling. Harold Frost is een orthooped en chirurg, welke zijn carrière heeft toegewijd aan de belasting op botweefsel en de respons hierop. In een van zijn artikelen (Frost, 2003) maakt hij een indeling aan de hand van het aantal microstrain ten opzichte van de reacties die dit oproept in het botweefsel (tabel 10). Mechanische belasting op botweefsel veroorzaakt een strain, welke een elektrisch potentiaal veroorzaakt en zo de osteocyten bereikt (Dillaman, Roer & Gay, 1991; Weinbaum, Cowin & Zeng, 1994; Currey, 2002; Cowin, 2002; Wu et al. 2016). Deze signalen controleren hoe modellering en remodelling worden ingezet, waarbij de grootte van de strain bepalend is voor het type respons. Als microstrains de modellering waarde drempel bereiken (MESm), wordt modellering aangezet om botweefsel te versterken. Wanneer strains onder een remodelling drempel blijven (MESr), wordt de disuse remodelling aangezet en vermindert de kracht van het bot. Als de strains een hoogte bereiken (MESp), waarbij er microdamage ontstaat, welke niet geheel kan worden verholpen door modellering en remodelling, stapelen de microcracks zich op. Samengevat is de sequentie van de drempels, van lage strain naar hoge strain MESr, MESm, MESp.

Tabel 10. Waardes voor regulatiedrempel bot

---

MESr:	50-100 microstrain;	1-2 mpa; 0.1 kg/mm <sup>2</sup>
MESm:	1,000-1,500 microstrain;	20 mpa; 2 kg/mm <sup>2</sup>
MESp:	3,000 microstrain;	60 mpa; 6 kg/mm <sup>2</sup>
Fx:	25,000 microstrain;	120 mpa; 12 kg/mm <sup>2</sup> .

---

Aan de hand van deze intervallen heeft Frost, een indeling gemaakt, welke vier intervallen beschrijft (tabel 11)(Frost, 1994). De eerste window is die van inactiviteit, door Frost de 'acute disuse window' genoemd. Door het onder de MESr blijven van de strain wordt de productie van de BMU's sterk verhoogd en vindt er remodelling plaats met als gevolg van botverlies en kans op osteopenia. In de praktijk wordt dit veel gezien bij astronauten die terug komen van hun reis of patiënten die langdurig bedlegerig zijn (Han, 2018). Op het moment dat de strain boven de MESr komt, wordt er gesproken over een 'adapted window'. Deze gaat tot de MESm. Binnen de adapted window lijkt er een dynamisch evenwicht te zijn gevonden en is de BMU productie normaal, waarbij er geen remodelling aanwezig is, maar ook geen drifts tot modellering. Boven de MESm en tot de MESp is er een 'mild overload

window'. Hier worden er drifts aangezet, met de aanleg van lamelair weefsel als gevolg. Dit vergroot de botdichtheid en verbetert de mechanische draagkracht van bot. Als de strain boven de MESp uit komt, slaat de drift over naar de plexiforme variant, ofwel geweven botweefsel. Dit weefsel is minder trekvast en minder bestendig tegen mechanische belasting. Een lang aanhouden en frequenter voorkomen van deze window leidt tot microcracks en vergroot de kans op een stress fractuur. De productie van BMU's zijn verhoogd. Kijkend naar deze indeling kan gesteld worden dat belasting tussen MESm en MESp zorgt voor een betere botdichtheid en daarmee een betere bestendigheid tegen inwerkende mechanische krachten. Een onderbelasting heeft remodelling en daarmee een aanmaak van secundaire osteons als resultaat en verlaagt de botdichtheid. Een overbelasting heeft een drift tot plexiform weefsel als resultaat en verlaagt daarmee tevens de mechanische draagkracht van bot.

Tabel 11: Mechanical Usage Windows

Window:	Strain:	BMU productie:	Reaction:	Drempel:
Acute disuse window	<50 $\mu\epsilon$	Tot 5 keer hoger dan normaal	Remodelling, Verlies botdichtheid, osteopenia	<MESr
Adapted window	50 $\mu\epsilon$ to 1500 $\mu\epsilon$	Normaal	Behoud bot dichtheid, voorkomt osteopenia	>MESr, <MESm
Mild overload window	1500 – 3000 $\mu\epsilon$	Normaal	Aanleg lamellaire botweefsel Vergroot botdichtheid	>MESm, <MESp
Pathological window	>3000 $\mu\epsilon$	Verhoogd	Aanleg plexiform botweefsel Vergrote kans stress fractuur	>MESp

## 3.4 BIOTENSEGRITY

---

### 3.4.1 DEFINITIE

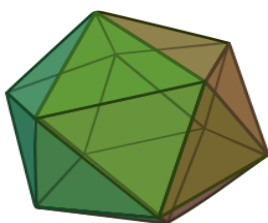
---

Biotensegrity is een compositie van “bio” en “tensegrity”, waarbij tensegrity weer een samenvoeging is van “tension” en “integrity”. Tensegrity is bedacht door architect R. Buckminster Fuller in 1961. Een tensegrity structuur is herkenbaar aan zijn set van compressie elementen, ook wel stutten, die lijken te zweven in een netwerk van tensie elementen, zoals kabels (Scar, 2014). Het was Levin die in de jaren 70 deze tensegrity patronen terug zag in het levende organisme en het daarmee biotensegrity heeft genoemd. Wat biotensegrity voor Ingber zo relevant en belangrijk maakt zal hieronder worden uitgelegd in de vorm van principes van biotensegrity.

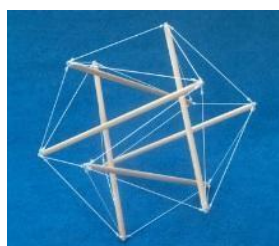
#### 3.4.1.1 VORM

---

Een biotensegrity structuur kan in elke vorm terug komen en zal bestaan uit compressie en tensie elementen. Ingber (2009) zag in het lichaam verschillende biotensegrity structuren terugkomen, van het cytoskelet tot het musculoskeletaal systeem. Het meest gebruikte voorbeeld is de tensegrity structuur in de vorm van een icosahedron (Figuur 5 en 6). Met zijn 20 driehoekige oppervlakken komt de icosahedron het dichtst bij een maximale inhoud met een minimale oppervlakte, op de bol na (Scar, 2014). Volgens Scar (2014) komt de zuivere bol niet voor in de natuur en zal op microniveau altijd het resultaat zijn van rechte lijnen. Hierdoor wordt binnen de biotensegrity de icosahedron gezien als meest optimale vorm voor volume. De 20 driehoeken worden gevormd door 14 contactpunten welke zich tussen de lijnen bevinden. De lijnen gebruiken de kortst mogelijke weg om naar het volgende contactpunt te gaan. Tensie zal ook de kortst mogelijke weg volgens als het een structuur belast. Hierdoor is de icosahedron zeer geschikt om strain te weerstaan (Scar, 2014). Door zijn gelijkenis aan de bol is de icosahedron bestendig tegen krachten vanuit alle richtingen (Pflüger, 2008). Chen en Ingber (1998) beschrijven een tensegrity structuur als het



**Figuur 5 Icosahedron .**  
Overgenomen van Wikipedia  
Contributors (2007).  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Icosahedron>



**Figuur 6 Icosahedron als tensegrity structuur.**  
Overgenomen van  
<http://www.tensegriteit.nl/e-well-known.html>



**Figuur 7 Montreal Biosphere.**  
Overgenomen van Wikipedia  
Contributors (2017).  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Montreal\\_Biosphere](https://en.wikipedia.org/wiki/Montreal_Biosphere)

meest efficiënt, met verschillende redenen. Als eerst beschrijven Chen en Ingber een tensegrity structuur als een optimalisatie van de kracht en massa ratio. Ten tweede ontdekt een tensegrity structuur zich zo veel mogelijk van zware compressie elementen en vertrouwt zo veel mogelijk op lichte tensie structuren. Daarnaast wordt door het gebruik van een netwerk van verschillende elementen de kracht opgevangen door meerdere kleine elementen en daarmee de efficiëntie van het hele systeem geoptimaliseerd. Een voorbeeld van tensegrity in de praktijk is de Montreal Biosphere (figuur 7). ontworpen door Buckminster Fuller en gebouwd in 1967 (Scar, 2014). Alhoewel deze geodesic dome rond lijkt, bestaat deze enkel uit rechte lijnen die samen icosahedrons vormen.

#### 3.4.1.2 PRESTRESS

---

Een biotensegrity structuur bestaat uit stutten en kabels. De stutten zijn structuren die drukkrachten kunnen doorleiden, waarbij kabels goed trek- of tensiekrachten kunnen geleiden. Samen vormen zij één complex. Door de afstelling van de kabels op de stutten verkeert dit complex in een constante spanning, genaamd prestress (Ingber, 2006; Pflüger, 2008; Scar, 2014). Deze prestress zorgt voor directe reactie bij belasting en verspreiding van de krachten. Kenmerkend voor een tensegrity structuur is dat een druk op één locatie een verhoogde spanning geeft op het gehele complex. De krachten die inspelen op het complex worden evenredig verdeeld over alle elementen, zowel stutten als kabels. Anders dan bij een huis, waarbij stenen uit de muur zullen breken als je daar met een grote kracht op inwerkt, zal een tensegrity structuur op één element niet falen, maar zal het de energie verspreiden tot het gehele complex faalt (Ingber, 2006; Pflüger, 2008; Scar, 2014). Vertekkende vanuit dit principe kan worden verklaard waarom er soms verder gekeken zal moeten worden dan de locatie van pijn (Pflüger, 2008).

#### 3.4.1.3 HIERARCHIE

---

Ingber (2008), Scar (2014) en vele anderen zien ons lichaam als een hiërarchie van systemen in systemen. Zo zien zij botten als een onderdeel van het musculoskeletaal systeem. Maar elke keer als je een stap verder naar het microniveau zet kom je nieuwe tensegrity systemen tegen, op weefselniveau en uiteindelijk ook op cellulair niveau. Ingber en Scar beschrijven beiden dat deze hiërarchie wordt bevestigd door experimenten waarbij de nucleus van een cel wordt vervangen door een andere nucleus. De cel blijft zijn functie behouden en daarmee willen Ingber en Scar aangeven dat het geen rigide geheel is, maar een synergie van verschillende systemen (Ingber, 2008; Scar, 2014).

#### 3.4.2 BIOTENSEGRITY OP MACRONIVEAU

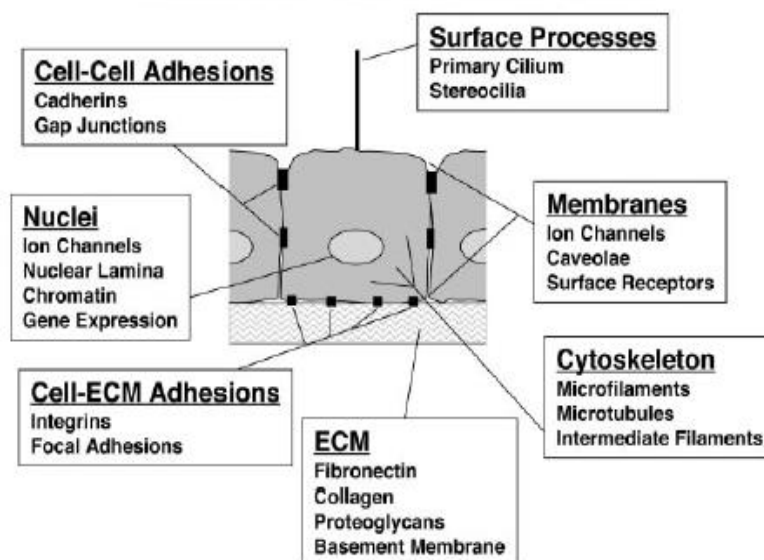
---

Scar (2014) geeft een voorbeeld van een vissende man met hengel. Volgens de traditionele mechanische wetten zou er een kracht van 120 kilogram inwerken op de rug van de man, bij een vis van 2 kilogram en een hengel van 3 meter lang. Uit zijn berekeningen blijkt dat de 120 kilogram die inwerkt op de rug niet zouden kunnen worden gestabiliseerd door het 35 kilogram vermogen van de erector spinae. Scar, en anderen zoals Ingber (2008) en Chen en Ingber (1998), geloven niet dat traditionele mechanica kan worden toegepast op het organisme, met als voorbeeld de situatie zoals hierboven beschreven. Zij geloven dat de

wervelkolom een biotensegrity structuur vormt met stutten en kabels, waardoor er een prestress ontstaat op het gehele complex, waarbij het geheel meer is dan de som der delen. Om dit te bekrachtigen geven zij voorbeelden waarbij traditionele mechanica, met het gebruik van armen en hefboomeffect, niet afdoende is om voorbeelden in het dagelijks leven te verklaren.

### 3.4.3 BIOTENSEGRITY VAN MACRO NAAR MICRO

Er is uitgebreid onderzoek gedaan en geschreven door Ingber en anderen op het gebied van biotensegrity op microniveau (Chen & Ingber, 1998; Turner & Pavalko, 1998; Ingber, 2003; Ingber, 2006; Ingber, 2008; Yavropoulou & Yovos, 2016). Zij beschrijven dat het cytoskelet kan worden gezien als een biotensegrity structuur (figuur 8). Ingber (2006) maakt de indeling dat de microtubuli kunnen worden gezien als compressie bestendige stutten die de inwaartse tensie vanuit de microfilamenten balanceren en er zo een prestress ontstaat. Chicurel, Chen en Ingber (1998) beschrijven dat de inwaartse kracht van de contractiele microfilamenten wordt weerstaan door externe celadhesies aan de extracellulaire matrix en omliggende cellen, door interne stutten vanuit het cytoskelet en door de celmembraan die door osmotische activiteit onder spanning staat. Chicurel, Chen en Ingber (1998) beschrijven dat de stabiliteit van het cytoskelet en de celvorm een resultante zijn van de capaciteit van de cel om interne tensie krachten in balans te brengen door het creëren van een prestress, welke de moleculaire architectuur van de cel stabiliseert. Dat deze constructie lokale compressie elementen omvat, welke globale tensie balanceert en daarmee een prestress creëert, maakt het in de ogen van Ingber (2006) en Chicurel, Chen en Ingber (1998) een tensegrity structuur.



Figuur 8 Cel als biotensegrity structuur (Ingber, 2006)

## 3.5 MECHANOTRANSDUCTIE

### 3.5.1 DE CEL EN EXTRACELLULAIRE MATRIX

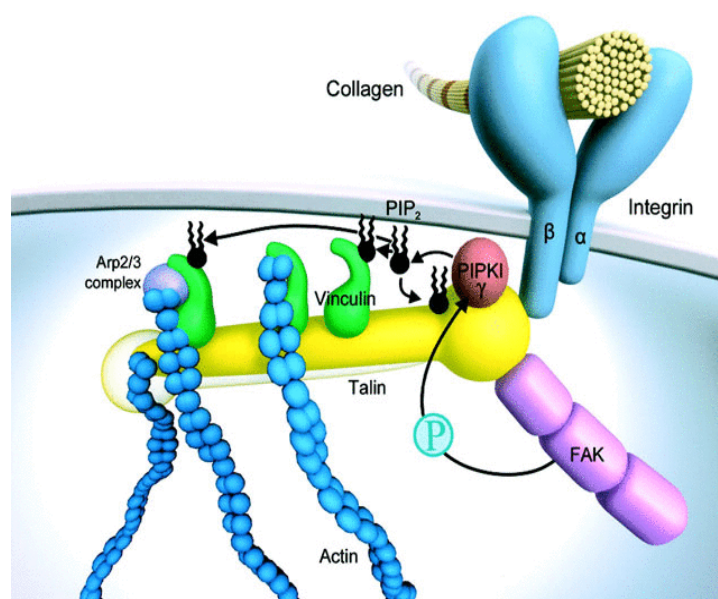
In het bot bestaan de trabeculae uit een compositie van mineralen gelegen in een netwerk van collageen fibrillen (Martin & Burr, 1990; Currey, 2002). Het collageen vergroot de tensiekracht van het bot terwijl de mineralen bijdragen aan de compressiekracht van het bot. Het is de eigenschap van deze extracellulaire matrix om compressie en osmotische druk binnen de cel te weerstaan en zo prestress te behouden (Chen & Ingber, 1998). Zoals Ingber (2008) en Scar (2014) zeggen, zien zij het organisme als een synergie van systemen in systemen. Zo is de cel weer een systeem in een groter systeem, namelijk het weefsel. De cellen zijn onderling en met de extracellulaire matrix verbonden middels cell- en extracellulaire matrix adhesies (Ingber, 1993; Turner & Pavalko, 1998; Chicurel, Chen & Ingber, 1998; Chen & Ingber, 1998; Ingber, 2006).

#### 3.5.1.1 INTEGRINE

Een veel benoemd en onderzocht voorbeeld van deze adhesies is integrine. Onderzoekers tonen veel interesse in de vondst en beschrijving van deze transmembraan receptor (Chen & Ingber, 1998; Turner & Pavalko, 1998; Cowin, 2004; Scar, 2014; Yavropoulou & Yovos, 2016). Hun interesse lijkt te zijn gewekt door de gevoeligheid van deze receptor voor de spanning en strain op de extracellulaire matrix en cel. Als reactie op de strain geeft het integrine een signaal door aan de actine elementen van het cytoskelet (figuur 9)(Brakebusch & Fässler, 2003; Yavropoulou & Yovos, 2016).

#### 3.5.1.2 CYTOSKELET

Het cytoskelet is een netwerk van microfilamenten, microtubuli en intermediair filamenten, welke de afstand van het celmembraan naar de nucleus door het cytoplasma overbruggen (Chen & Ingber, 1998). De voornaamste functie van het cytoskelet lijkt het vormgeven en



Figuur 9 Integrine en actine (Brakebusch & Fässler, 2003)



weerstand bieden aan mechanische deformiteit van de cel. Daarnaast is het cytoskelet ook betrokken bij intracellulair transport, cel mobiliteit en het doorgeven van cel signalen (Ingber, 1993). Microfilamenten bevat gepolymeriseerde actine en kunnen voorkomen in relatie met myosine filamenten (Ingber, 2009). Deze laatstgenoemde representeren de contractiele microfilamenten, welke tensie genereren op het netwerk en daardoor een continue tensie veroorzaken in de cel (Ingber, 1993; Chicurel, Chen & Ingber, 1998; Ingber, 2009). Microtubuli zijn holle tubulaire polymeren van een keten van eiwitten, genaamd tubuline monomeren. Vanwege de holle bouw vormen deze tubuli een goede weerstand tegen buigen en torsie (Ingber, 2009). De microtubuli zijn lateraal verstevigd door de intermediair filamenten, welke weerstand bieden tegen het doorbuigen van de microtubuli en het gehele netwerk verstevigen (Ingber, 2009).

---

### 3.5.2 CYTOSKELET IN ACTIE

---

Ingber (2008) beschrijft dat de krachten die inwerken op het weefsel van systeem op systeem worden doorgegeven en zorgen voor een intentie tot deformiteit van de cel. Als reactie op de spanning aan het celoppervlak worden door de receptoren, zoals integrine, signalen doorgegeven aan de actine filamenten. Deze signalen hebben hun effect op de intracellulaire biochemie en genen uitdrukking (Ingber, 2008). Currey (2002) en Ingber (2008) beschrijven beide een bijna directe verandering in moleculaire structuur in het cytoplasma en de nucleus.

---

### 3.5.3 MECHANOTRANSDUCTIE EN BOTADAPTIE

---

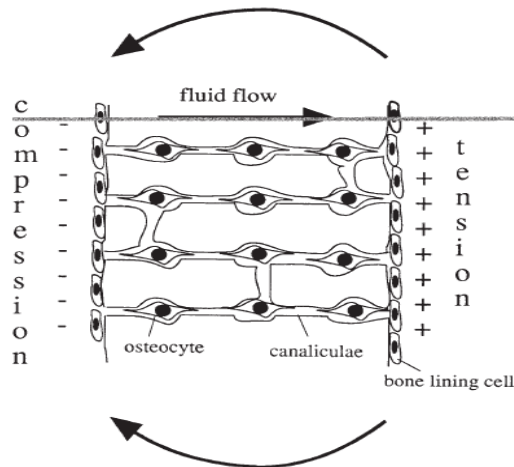
Turner en Pavalko (1998) zeggen dat botcellen door de genetische blauwdruk het skelet vormen en de botcellen het skelet over de jaren bewerken tot het skelet voldoet aan de eisen van belasting. Dit proces van aanpassingen heet botadaptatie en vereist dat de botcellen mechanische signalen herkennen en op een geschikte manier verwerken met als uitkomst aanpassingen in de structuur en architectuur van het bot. Turner deelt dit proces, welke wordt aangeduid als mechanotransductie, op in vier fasen (Turner & Pavalko, 1998).

---

#### 3.5.3.1 MECHANOCOUPLING

---

Deze fase beschrijft de transductie van mechanische krachten die worden toegepast op het bot in een lokaal mechanisch signaal, welke op zijn beurt wordt opgenomen door een sensorische cel. Deze sensor wordt gevormd door de osteocyt. De druk in het weefsel creëert een extracellulaire beweging van vloeistof rondom de osteocyten, waardoor er een beweging ontstaat tussen de geladen ionen aan de oppervlakte en die verder in de vloeistof (figuur 10). Hierdoor ontstaat een stress-generated potential (Currey, 2002). De strain in het bot veroorzaakt een piëzo-elektrisch geladen gebied, die een 'streaming potential' wordt genoemd (Wu et al. 2016). Elk van deze elektrische effecten op celniveau spelen, volgens Turner en Pavalko (1998), mogelijk een rol in mechanotransductie. Weefsel verandert zijn structuur en architectuur aan de hand van mechanische strain, stroming van extracellulaire vloeistof en potentialen (Turner & Pavalko, 1998).



**Figuur 10 Stress generated potential (Turner & Pavalko, 1998)**

### 3.5.3.2 BIOCHEMICAL COUPLING

In deze fase ontstaat een transductie van het lokaal mechanisch signaal in een biochemisch signaal met als resultaat een activatie van genexpressie of eiwit activatie. Er zijn meerdere wegen die genexpressie en eiwit activatie aanzetten. De eerste wordt beschreven via een mechanotransductor in het celmembraan en heeft een interactie met verschillende kanalen, waaronder een kation kanaal. Dit kation kanaal zet een cascade van reacties aan in de cel (Turner & Pavalko, 1998). Als tweede weg wordt de integrine genoemd, welke zijn signaal doorgeeft aan de actine elementen van het cytoskelet, de microfilamenten. Een sleutelrol wordt hier toegedragen aan het  $\alpha$ -actinin eiwit (Turner & Pavalko, 1998). Vloeistofstroming in botweefsel induceert rekrutering van integrine moleculen in de lokale celadhesies en reorganiseert actine filamenten in grote bundels, de stress-fibers. De  $\alpha$ -actinin verbindt de stress-fibers met de integrine.

### 3.5.3.3 SIGNAAL TRANSMISSIE

Osteocyten en botaflijnende cellen omvatten 95% van de cellen die botweefsel omhullen (Rubin & Rubin, 2014). Deze twee type cellen zijn met elkaar verbonden door gap junctions en zijn gevoelig voor mechanische belasting (Cowin, 2002; Rubin & Rubin, 2014). Osteocyten en aflijnende cellen brengen zelf geen veranderingen aan in botresorptie of botaanmaak, maar geven het signaal door aan de osteoblasten en osteoclasten. De intermediaire stoffen voor deze overdracht zijn prostaglandines en stikstofoxide (Yavropoulou & Yovos, 2016).

### 3.5.3.4 EFFECTOR CEL RESPONS

De botformatie respons op mechanische belasting omvat zowel niet proliferatie als wel proliferatie voorlopercellen. Mechanische belasting induceert een vroege botformatie reactie binnen 48 uur die osteoblasten rekruteert vanuit bot aflijnende cellen of voorlopercellen van osteoblasten. Proliferatie voorlopercellen worden 72 tot 96 uur na de mechanische belasting gedifferentieerd (Turner & Pavalko, 1998).

## 3.6 EMBRYOLOGIE

---

### 3.6.1 HET SKELET

---

De cellen die het skelet van gewervelden vormen hebben hun oorsprong vanuit drie groepen cellen uit de embryonale ontwikkeling. De cellen van de neurale lijst geven oorsprong aan de kieuwbogen van het craniofasciaal skelet. Het paraxiaal mesoderm draagt bij aan het craniofasciaal skelet en vormen het grootste gedeelte van het axiaal skelet. De cellen van het lateraal plaat mesoderm zullen migreren en de beenderen van de extremiteiten vormen. Al deze bovengenoemde cel groeperingen hebben hun oorsprong in het mesodermale kiemblad (Olsen, 2000; Sadler, 2009; Moore, 2009).

#### 3.6.1.1 HET MESODERMAAL KIEMBLAD

---

In het begin van de derde week begint de gastrulatie, waar het ontstaan van het intra-embryonaal mesoderm mee wordt aangeduid. Dit intra-embryonaal mesoderm zal het mesodermale kiemblad vormen en wordt aangeduid als het mesoderm (Sadler, 2009; Moore, 2009). Tijdens de gastrulatie migreert het mesoderm naar axiaal en, onder invloed van de invaginatie van het ectodermale kiemblad, naar lateraal. Het mesoderm dat zich naar lateraal migreert vormt het zijdeplaat mesoderm. De zijdeplaat wordt later onderverdeeld, van mediaal naar lateraal, in paraxiaal mesoderm, intermediair mesoderm en lateraal mesoderm (Olsen, 2000; Sadler, 2009; Moore, 2009).

#### 3.6.1.2 HET AXIAAL SKELET

---

In het paraxiaal mesoderm ontstaan somietenparen. Dit is een condensatie van mesodermale cellen welke zich bilateraal van de chorda dorsalis en de neurale buis bevinden. De eerste somietenparen vormen zich tussen dag 19 en 21 na de bevruchting (Sadler, 2009). In de loop van 2 á 3 weken ontwikkelen zich meer somietenparen tot er rond dag 32 tot 35 zich 42 tot 44 somietenparen voordoen (Sadler, 2009). Na het vormen van deze gepaarde condensaties zullen de somieten zich verder gaan ontwikkelen en zich delen in specifieke mesodermale componenten, het sclerotoom en het dermomyotoom. Het sclerotoom is de basis voor het axiaal skelet en kan nog verder worden verdeeld in een anterior en posterior segment. Het anterieure deel zal de chorda omgeven en vormt het wervellichaam. Het posterieure deel zal naar de neurale buis migreren en deze omringen. Dit laatste deel zal de wervelboog vormen (Olsen, 2000). Onder het axiaal skelet wordt ook de schedel geschaard. Deze ontstaat uit het sclerotoom van vier occipitale somietenparen en het meest craniale cervicale somietenpaar, welke zich bij het occiput zal voegen (Sadler, 2009; Moore, 2009).

#### 3.6.1.3 STERNUM EN RIBBEN

---

Sadler (2009) en Moore (2009) beschrijven beiden dat de oorsprong van de ribben en het sternum verschillend zijn. Beiden beschrijven ze de vorming van één paar mesenchymale banden, welke zich zullen vormen tot het sternum. Sadler deelt deze banden toe aan de pariëtale laag van het lateraal plaat mesoderm en Moore geeft aan dat ze zich vormen in de lichaamswand, wat voortkomt uit de pariëtale laag van het lateraal plaat mesoderm. Waar

het sternum ontstaat uit de somatopleura van het lateraal plaat mesoderm, ontwikkelen de ribben zich uit het sclerotoom van de somietenparen. Sadler (2009) en Moore (2009) beschrijven de ribben als een resultaat van verdere groei van de processus costalis van de thoracale wervels, welke hun oorsprong hebben in de sclerotoom van de somietenparen.

#### 3.6.1.4 DE LEDEMATEN

---

De mesodermale cellen van het lateraal plaat mesoderm worden onderbroken door een axiale holte, genaamd het intra-embryonaal coeloom. Het lateraal plaat mesoderm ligt hieromheen en wordt daardoor verdeeld in een anterior en posterior gedeelte. Het anteriore gedeelte wordt aangeduid als de splancho- of visceropleura en zal zich later ontwikkelen in de bekleding van holttes en organen. Het posterieure gedeelte wordt aangeduid als de pariëto-of somatopleura en groeit uit tot de bekleding van de laterale en ventrale lichaamswanden. Aan het eind van de vierde week na bevruchting ontstaan er in het somatopleura knoppen, twee caudaal en twee cranial. De caudale knoppen ontstaan twee dagen later dan de craniale knoppen. Deze knoppen zijn de extremitateitsknoppen en vormen de aanleg voor de ledematen (Salder, 2009; Moore, 2009). De extremitateitsknoppen zullen de kraakbenige aanleg voor bot vormen met daarbij het verbindend bindweefsel, zoals fasciae. Over deze knoppen komt de 'apical extodermal ridge' (AER) te liggen, wat een laag cuboidaal ectodermaal weefsel is (Olsen, 2000; Sadler, 2009; Moore, 2009). De AER heeft invloed op het mesoderm op een wijze dat het mesoderm dichtbij de AER snel groeit en zich niet differentieert. Deze zone wordt de 'progress zone' genoemd. Cellen verder gelegen van het AER differentiëren zich wel en vormen vasculaire structuren, bindweefsel structuren en kraakbeen. De progress zone wordt in stand gehouden door signaalstoffen, waaronder de eiwitten Wnt7 en Sonic Hedgehog (SHH). De verdere groei en vorm van de extremitateitsknoppen wordt gestuurd door deze en andere eiwitten (Sadler, 2009).

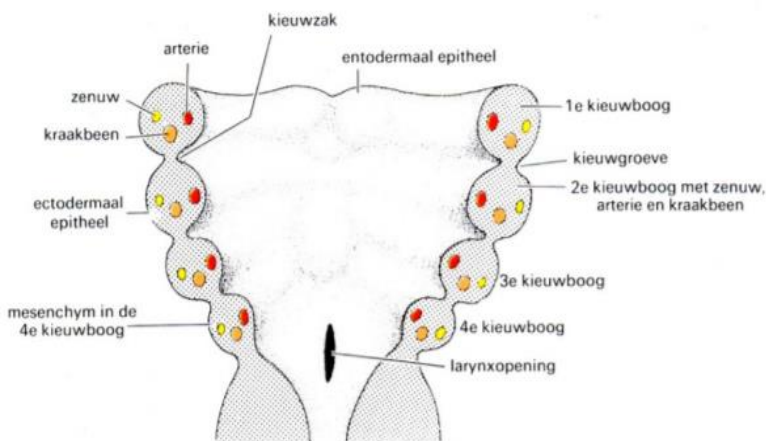
#### 3.6.1.5 HET NEUROCRANIUM

---

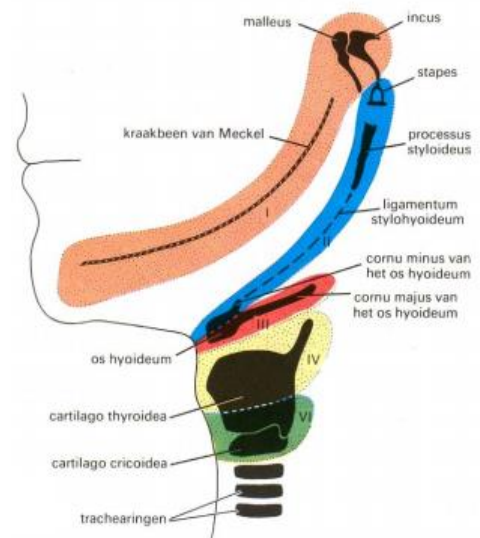
De schedel kan worden verdeeld in een neurocranium, welke een bescherming biedt voor de hersenen, en het viscerocranium, welke de benige structuren van het aangezicht vormen. Het neurocranium kan worden verdeeld in schedeldak en een schedelbasis, respectievelijk van desmale afkomst en chondrale afkomst. Het schedeldak is een resultante van de neurale lijst en het paraxiaal mesoderm (Moore, 2009; Sadler, 2009). Ze vormen verschillende platte membraneuze botstukken, welke los van elkaar over de hersenen liggen. Deze botstukken groeien radiaal naar de periferie, naar de andere botstukken toe. De schedelbasis komt deels voort uit de neurale lijst en deels uit de occipitale sclerotomen van het paraxiaal mesoderm. Het deel van de neurale lijst komt rostraal te liggen, voor het sella turcica en vormt het prechordaal chondrocranium. Het deel van de occipitale sclerotomen komt hier posterior van te liggen en vormt zo het chordal chondrocranium (Moore, 2009; Sadler, 2009).

### 3.6.1.6 HET VISCEROCRANIUM

In de vierde en vijfde week na bevruchting ontstaan er pharyngeale-of kieuwbogen. Ze ontstaan als bogen van mesenchymaal weefsel, van elkaar gescheiden door uitsparingen van pharyngeale groeven (figuur 11)(Sadler, 2009). Met de ontwikkeling van deze bogen en groeven ontstaan er zakken, de pharynxzakken. Dit geheel van kieuwbogen, groeven en pharynxzakken draagt bij aan de vorming van de nek en het aangezicht. Elke kieuwboog bestaat uit een basis van mesenchymaal weefsel, afkomstig uit paraxiaal en lateraal plaat mesoderm. Aan de buitenkant worden de bogen bedekt door ectodermaal weefsel en aan de binnenkant door een epitheliale laag van endodermale afkomst. Ectodermale cellen van de neurale lijst migreren in de bogen om zo bij te dragen aan het vormen van het skelet van het viscerocranium. Elke boog bevat de aanleg voor de musculatuur, bijbehorende



**Figuur 11 De kieuwbogen (Sadler, 1988)**



**Figuur 12 Voortzetting van de kieuwbogen bij volwassenen (Sadler, 1988)**

hersenzenuw, vascularisatie, kraakbenige structuren en botvorming van nek en aangezicht (figuur 12)(Sadler, 2009). Bij de embryo zijn zes kieuwbogen, waarvan de vijfde volledig zal verdwijnen en de structuren van de vierde en zesde boog zich samen zullen voegen. Het menselijke embryo heeft vijf paar pharynxzakken, waarvan de laatste rudimentair is. De pharynxzakken zijn bekleed door epitheliaal endodermaal weefsel, wat de aanleg vormt voor organen in de nek- en aangezichtsregio (tabel 12)(Sadler, 2009; Moore 2009; Blechschmidt, 2004).

Tabel 12. Derivaten van de pharynxzakken (Sadler, 2009)

Pharynxzak	Derivaten
1	Cavum tympani Buis van Eustachius
2	Tonsilla palatina Fossa tonsillaris
3	Glandula parathyroideus inferior Thymus
4	Parafolliculaire cellen van glandula thyroideus

### 3.6.2 DE MUSCULATUUR

Het musculair systeem is onder te verdelen in skeletspieren, hartspierweefsel en glad spierweefsel. Elke van deze soort spieren is afkomstig uit het mesodermaal kiemblad. Echt kan er een onderscheid worden gemaakt tussen het skeletspierweefsel en het glad- en hartspierweefsel (Sadler, 2009; Moore, 2009).

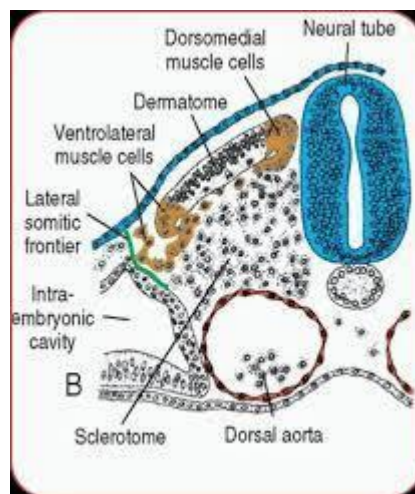
#### 3.6.2.1 GLAD- EN HARTSPIERWEEFSEL

Zowel het glad spierweefsel als hartspierweefsel is afkomstig uit het lateraal plaat mesoderm (Sadler, 2009; Moore, 2009). Beide ontstaan uit het splanchnisch weefsel van het lateraal plaat mesoderm. Het sereuze vlies, wat voortkomt uit het splanchnopleura, zal het hart en andere organen gaan omvatten. Myoblasten in dit weefsel zullen het hart gaan voorzien van spierweefsel. In latere ontwikkelingen zullen enkele bundels van myoblasten zichtbaar worden en de vezels van Purkinje vormen. Ook het glad spierweefsel van de darmen is gevormd uit splanchnisch mesoderm. Rond de aorta en andere grotere arteriën zal er een bijdrage zijn van ectodermaal weefsel vanuit de neurale lijst. Het spierweefsel rond de arteriae coronaria is een samenstelling van proepicardiale cellen en cellen van de neurale lijst. Waar al het bovengenoemde glad spierweefsel afkomstig is uit het mesoderm, zijn de sfincter en dilator spieren van de pupil en spierweefsel in de borst- en zweetklieren afkomstig van het ectoderm (Sadler, 2009; Moore, 2009).

#### 3.6.2.2 SKELETSPIERWEEFSEL

Skeletspierweefsel is afkomstig uit de myotomen van de somietenparen, gelegen in het paraxiaal mesoderm. Alhoewel al het skeletspierweefsel afkomstig is uit het myotoom, is er in de ontwikkeling een verdeling te maken aan de hand van de richting van de migratie van de spiercellen. Tussen de myotomen en de somatische laag van het lateraal plaat mesoderm ligt een grenslijn die de lateral somitic frontier wordt genoemd (figuur 13)(Sadler, 2009). De cellen die vanuit het myotoom over deze grens migreren naar het somatopleura vormen de aanleg voor de infrahyoidale musculatuur, de buikwand en spieren van de extremiteiten. Het gebied van de spiercellen die over de lateral somitic frontier migreren wordt het abaxiaal

domein genoemd, waar de spiercellen die blijven zich in het primaxiaal domein bevinden. De spiercellen in het primaxiaal domein vormen de musculatuur van de rug, musculatuur van de schoudergordel en de intercostaal musculatuur (Sadler, 2009). Het migreren van de spiercellen over de lateral somatic frontier heeft niet alleen een gevolg voor de ligging van de toekomstige spieren, maar ook voor de afkomst van signaalstoffen, die leiden tot de differentiatie. De spiercellen in het abaxiaal domein worden aangestuurd door signaalstoffen vanuit het lateraal plaat mesoderm, waar de spiercellen in het primaxiaal domein hun signaalstoffen krijgen vanuit de neurale buis en de chorda dorsalis (Sadler, 2009). Alle spieren ontvangen hun innervatie van de zenuw uit hetzelfde segment als de spiercellen, ongeacht in welk domein de spieren zich bevinden. De spinale zenuw zal echter een rami dorsalis afgeven voor de primaxiale spieren en een rami ventralis voor de abaxiale spieren (Sadler, 2009; Moore, 2009).



**Figuur 13 Lateral somitic frontier.**  
 Overgenomen van Cram (2015)  
<https://www.cram.com/flashcards/2-5-cell-differentiation-and-development-5519604>

---

### 3.6.3 SPIERAANLEG PATROON

---

Myoblasten migreren vanuit de myotoom om zo de spieraanleg te vormen (Sadler, 2009; Moore, 2009). Het verbindend bindweefsel zal deze migratie voorgaan en zo bepalend zijn voor het patroon van de spieraanleg. Bij musculatuur voor het hoofd zal dit bindweefsel afkomstig zijn uit de neurale lijst. In cervicale en occipitale regio's zal dit bindweefsel afkomstig zijn uit de somieten en musculatuur in de lichaamswand en de ledematen zal vooraf worden gegaan door bindweefsel uit het somatopleura (Sadler, 2009). Het verbindend bindweefsel zal zich in de laterale ontwikkeling als myofasciaal systeem neerleggen (Sadler, 2009).

---

### 3.6.4 METABOLIC FIELDS

---

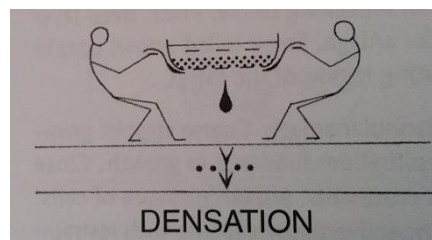
Blechsmidt (2004) beschrijft de groei en differentiatie van de embryo vanuit 'metabolic fields'. Hij beschrijft deze fields als levende cellen, welke in DNA identiek zijn, maar zich op

andere plekken verschillend zullen differentiëren. Voor Blechschmidt is de positie en structuur van de cellen bepalend voor de differentiatie. Blechschmidt schetst het beeld dat de groep cellen of het orgaan een lokaal gemodificeerd krachtveld vormen. Hiermee bedoelt hij dat deze velden de basis zijn voor submicroscopische deeltjes, welke volgens een eigen patroon bewegen. Aan de hand van deze beweging, en daarmee de embryologische groei, beschrijft Blechschmidt verschillende metabolic fields. Blechschmidt visualiseert deze submicroscopische deeltjes aan de hand van twee 'stick figures'. Hieronder zullen drie metabolic fields worden beschreven.

#### 3.6.4.1 DENSATION FIELDS

---

De twee stick figures houden een vergiet vast, welke een inhoud heeft van een combinatie van vaste stoffen en vloeistof (figuur 14). De vloeistof druppelt uit het vergiet en er blijft een sediment en aggregaat over van vaste stof. Deze densation fields verliezen hun water, waardoor een verdikking van weefsel achterblijft. De eerste aanleg voor het kraakbenig skelet ontstaat in densation fields. Het aflijnende weefsel, het ectoderm, haalt zijn voeding uit het onderliggende weefsel. In de tweede maand van de embryologische ontwikkeling zorgt deze stroom van vloeistof voor de vorming van een dicht netwerk van capillairen, onder het aflijnend weefsel. Dit capillair netwerk voedt niet alleen het ectoderm, maar ook het omliggende stroma, de dermis. Als resultaat van de osmotische druk in de capillairen van de dermis wordt het vloeistof van het dieper gelegen weefsel aangetrokken tot het capillair netwerk. De cellen van het dieper gelegen weefsel komen hierdoor dicht tegen elkaar aan te liggen en vormen zo een densation field. Een densation field vormt de voorwaarde voor skelet aanleg in de vorm van kraakbeen en wordt gereguleerd door de vorming van huid of dermis.



Figuur 14 Densation field (Blechschmidt, 2004)

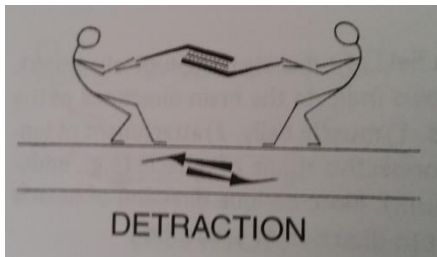
#### 3.6.4.2 DETRACTION FIELDS

---

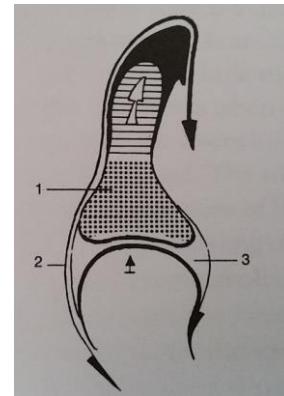
Waar densation fields de kraakbenige aanleg voor het skelet bewerkstelligen, creëren detraction fields de zone voor ossificatie. Blechschmidt visualiseert dit door zijn stick figures elk een harde plaat zijn eigen kant op te laten trekken, terwijl de platen onderling verbonden zijn door een gel-achtige lijm (figuur 15). De opstelling van de stick figures en de lijm zorgen ervoor dat de twee platen dicht tegen elkaar worden gedrukt. Uiteindelijk zal de lijm toegeven en zullen de platen langzaam over elkaar afglijden. Er ontstaat frictie en water wordt uit de zone tussen de platen geperst. Dit glijden in combinatie van uitdrijven van vocht vormt volgens Blechschmidt het uiteindelijk botweefsel. Dit start namelijk een consolidering van het weefsel door het verlies aan water en het impregneren van de



intercellulaire matrix met onoplosbaar calcium. Blechschmidt schetst een voorbeeld aan de hand van een distaal phalanx (figuur 16). In de apex van de vinger is het fibreus weefsel als zwart aangeduid en kraakbeenig weefsel met dwarsstrepen. Het fibreus weefsel glijdt over de kraakbeenlaag onder invloed van de groei van het weefsel. Dit afglijden in combinatie met de druk vanuit de kraakbeenlaag omhoog zorgt dat vloeistof uit de fibreuze laag wegvloeit en de tensie in het weefsel toeneemt. Het wegvloeien van de vloeistof en het verharden van de grondsubstantie leidt tot een detractation field. In dit detractation field ontstaat de epifyse van de distale phalanx.



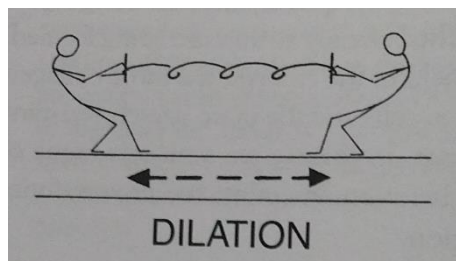
**Figuur 15 Detraction field**  
(Blechschmidt, 2004)



**Figuur 16 Detraction field van een distaal phalanx** (Blechschmidt, 2004)

### 3.6.4.3 DILATION FIELD

De stick figures (figuur 17) trekken een makkelijk rekbaar structuur uit elkaar. De structuur geeft makkelijk mee, zonder veel weerstand. Hierdoor wordt de structuur langer en dunner. In dit dilation field wordt het binnenste weefsel verlengd en uitgelijnd in bundels. Deze cellen ontwikkelen zich tot spierweefsel. Waar de spieren na geboorte de actieve componenten zijn van het musculoskeletaal systeem, zijn de spieren tijdens de embryonale groei passieve componenten. Het verlengen geeft de spieren, zoals we die zien na geboorte, hun langwerpige vorm. Ondanks deze omkering na geboorte is er ook een gelijkenis. De verlenging in de embryologische groei is namelijk ook terug te zien bij contractie na geboorte. Een spier zal bij een contractie vooraf worden gegaan door een verlenging.



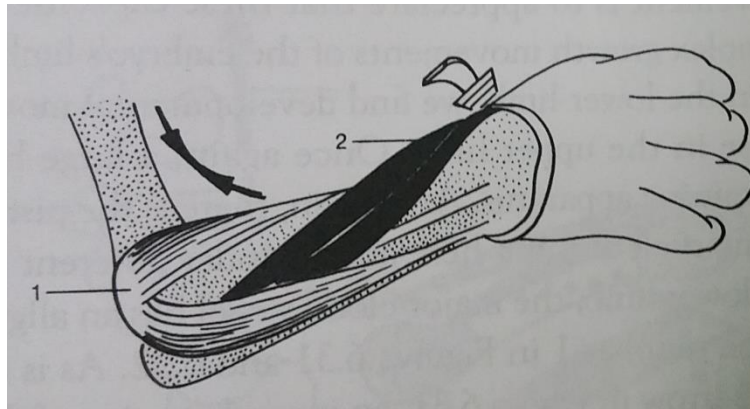
**Figuur 17 Dilation field** (Blechschmidt 2004)

---

### 3.6.5 BOT ALS ACTIEF COMPONENT

---

Waar na geboorte de spier de een actief component is van het musculoskeletaal systeem en het bot een passief component, is dat in de embryonale groei omgekeerd. De kracht tot verlenging, zoals beschreven bij een dilation field, wordt geleverd door de actieve groei van het kraakbenig skelet, zoals beschreven bij een densation field. De spier volgt de groeirichting van het bot, zoals te zien is bij de musculus abductor pollicis longus, genummerd als 2 in figuur 18.



**Figuur 18** Groei abductor pollicis (Blehschmidt, 2004)

## 4 RESULTATEN INTRAOSSAIRE LITERATUUR

---

### 4.1 DEFINITIE INTRAOSSAIRE DYSFUNCTIE

---

#### 4.1.1 TERMINOLOGIE

---

Tijdens het zoeken naar literatuur werd duidelijk dat er een verscheidenheid aan terminologie wordt gebruikt om een intraossaire dysfunctie aan te duiden. Voor het gemak is er gekozen om vanuit dit onderzoek de term intraossaire dysfuncties te gebruiken. Om een overzicht te krijgen van de verschillende terminologie en definities in andere publicaties wordt hieronder een overzicht gegeven. Een veel geciteerde bron is het boek van Chauffour en Prat (2002). Chauffour en Prat werden in bijna elk onderzoek of artikel over intraossaire dysfuncties geciteerd. Alhoewel Chauffour een pionier is op het gebied van intraossaire dysfuncties geeft hij in zijn boeken geen eenduidige definitie. In zijn boeken heeft hij het over 'osteopathic lesions of bone' of 'bony lesions'. Hij beschrijft in zijn boek uit 2002 een osteopathic lesion als "An intraosseous line of force fixity, the bone loses its capacity to diffuse or spread out the impact of stress" (Chauffour & Pratt, 2002). Bij navraag op opleidingsinstituten, osteopaten in het werkveld en osteopaten met affiniteit voor intraossaire dysfuncties werd er eenduidig verwezen naar Leonard van de Geer. Van der Geer is een osteopaat welke zich jaren heeft verdiept in de intraossaire dysfuncties, daar een artikel over heeft geschreven (Geer, van der L. 2014) en in zijn cursus 'Back the bone' al jaren les geeft in intraossaire dysfuncties. In zijn artikel noemt hij de term 'intra-osseuze restrictie'; "Een Intra-osseuze restrictie (IO-restrictie) is een significante afname van visco-elasticiteit, botstressdistributie en optimale botfunctie als gevolg van een restrictieve zone in doorgaans een specifiek deel van het aangedane bot". Brown heeft als thesis een kwalitatief onderzoek geschreven (Brown, 2008) met als doel een dieper inzicht en een betere communicatie te creëren over intraossaire dysfuncties. Brown gebruikt in haar thesis de term 'intraosseous lesion/strain'; "An intraosseous lesion/strain is an osteopathic term that describes the altered state of osseous matrix in a part of a bone due to a sudden or chronic force, expressed by increased rigidity, altered force transmission, and reduced vitality". In haar literatuuronderzoek geeft Brown een overzicht van definities uit verschillende publicaties, welke niet te achterhalen waren in dit literatuuronderzoek; "Interosseous compressions are compressions between two bones; an intraosseous compression is a compression within the bone structure itself" (Handoll, 2000), "A compaction is considered a non-physiological lesion without respect of axis, whose restoration to normal is primary to the vitality of the system. It is a lesion that has no PRM inside the segment, but there may be an expression of vitality in the surrounding tissues"(Peters & Mathieu, 2002), "A densification of energy in the osseous matrix" (Stone, 2003), "A disturbance in the relations of bones, not associated with rupture of ligaments" (Burns, 1931). Daarnaast geeft Brown ook een beschrijving uit het boek van Sills (2003): "Franklin Sills (2003) describes intraosseous lesions as a disruption to the inherent motion within the bone (intraosseous motion), which he defines as motion expressed within the bone itself. It is cellular. It is an inner breath expressed within every cell and tissue of the body. It is generated by the action of tidal potencies within the fluids of the body. He states that intraosseous lesions

commonly arise due to birth trauma, but does not refer to them in the periphery, or as a result of adult trauma". Muntinga (2013) en Thibault (2009) citeren beiden in hun onderzoek uitspraken van Druelle die zij hebben genoteerd tijdens lessen of persoonlijke communicatie. Philippe Druelle is een osteopaat en oprichter van een zestal scholen voor de osteopathie, zo ook in Canada, Duitsland en Zwitserland. Thibault (2009) citeert in zijn onderzoek dat Druelle een intraossaire dysfunctie ziet als "a zone of abnormal density which gives an impression of fullness and of a vacuum at the same time. At the same time dense and homogenous, a little like a sharpening stone". Muntinga (2013) citeert een andere uitspraak van Druelle over intraossaire dysfunctie: "A change inside of living bony tissue, expressed by change in mechanical resistance (spring); change in vascularization; change in fluid flow; change in its surrounding/perfusing electro-magnetic field; and a change in local Primary Respiratory Motion". Noelmans (persoonlijke communicatie, 27 maart 2019) heeft bezwaar tegen de term intraossair. Hij ziet dit als een academische beschrijving en als een definitie van een welbepaalde handeling. Het is in zijn ogen nuttig voor onderwijsniveau of in onderzoek. In de praktijk ziet Noelmans een intraossaire dysfunctie liever als een afwijking in beweging.

## 4.2 EERDER ONDERZOEK

---

### 4.2.1 MUNTINGA

---

Uit het literatuuronderzoek is één onderzoek voortgekomen over intraossaire dysfuncties, van Muntinga (2013). Het onderzoek is geschreven in het kader van zijn thesis. Tijdens zijn onderzoek heeft Muntinga door zijn connectie met verschillende opleidingsinstituten in de osteopathie een viertal thesissen tot zijn beschikking gekregen, die onderzoek doen naar verschillende intraossaire aspecten. Omdat het hier gaat om ongepubliceerde thesissen waren deze niet te achterhalen middels literatuuronderzoek. Bij toenadering naar Muntinga is deze zo behulpzaam geweest om deze thesissen te delen. Hieronder worden de onderzoeken verder toegelicht. Het doel van het onderzoek van Muntinga (2013) zelf was om middels thermografische metingen van de huid intraossaire dysfuncties vast te stellen in de tibia. Muntinga wilde op deze wijze vaststellen of thermografische metingen een betrouwbaar en objectief middel zijn om intraossaire dysfuncties te detecteren. Muntinga neemt de tijd en ruimte om zijn onderzoek op papier te zetten en zo is ook zijn methode uitgebreid beschreven. In zijn methode worden de inclusie- en exclusie criteria beschreven, kijkt hij kritisch naar zijn meetinstrumenten, beschrijft de omstandigheden tijdens onderzoek, zoals de kamertemperatuur, en geeft de lezer stapsgewijs inzicht in de uitvoering van het onderzoek. Het onderzoek telt 43 participanten, waarvan 20 in de casegroep zijn geplaatst en 23 de controlegroep vormen. Van de 43 personen zijn beide tibia's gemeten en gepalpeerd, waardoor de steekproefomvang uiteindelijk 86 tibia's bedraagt. De indeling in groepen werd gedaan aan de hand van vragenlijsten en een manueel palpatie protocol door Muntinga zelf. Participanten welke een fysiek trauma aan het tibia in de voorgeschiedenis hadden en waarbij door Muntinga een intraossaire dysfunctie werd vastgesteld, aan de hand van het palpatie protocol, werden in de casegroep geplaatst. Hieraan voorafgaand zijn bij alle participanten thermografische metingen verricht van de anterieure zijde van beide tibia's. De resultaten worden duidelijk weergegeven en er is inzichtelijk gemaakt welke correlatie coëfficiënt gebruikt is en welke parameters hiervoor gebruikt worden. In de resultaten blijkt dat het temperatuurverschil in de casegroep significant lager is dan die in de controlegroep ( $p < 0,001$ ). Dit correleert ook met de gevonden rigiditeit die is waargenomen tijdens zijn manueel palpatie protocol ( $p < 0,05$ ). In zijn conclusie vormt Muntinga een drietal indicaties. Als eerst stelt hij dat er een correlatie is tussen de thermische beelden en de osteopathische bevindingen middels palpatie. Als tweede maakt hij daaruit op dat het mogelijk is om een intraossaire dysfunctie te lokaliseren middels thermografie. Als laatste suggereert hij dat een intraossaire dysfunctie de temperatuur van het erboven liggende weefsel zo beïnvloedt dat dit waar te nemen is middels thermografie. Alhoewel de methode uitgebreid is beschreven wordt er niet duidelijk aangegeven of de bepaling van de intraossaire dysfuncties voor het plaatsen in de casegroep en controlegroep ook gelijk dezelfde manuele palpatie procedure is die later in de methode wordt beschreven na de thermografische metingen. Bij gebrek aan een aanduiding dat dit anders is, wordt er uitgegaan dat dit het geval is. Hieruit kan worden opgemaakt dat Muntinga dan ook de 'examiner' is, zoals hij deze noemt. Het is hierdoor aannemelijk dat Muntinga de indeling van groepen maakt met al enig inzicht in de uitslagen van de thermografische metingen en hierdoor bewust of onbewust beïnvloed kan worden bij zijn bevindingen. Hierbij kan ook

worden meegenomen dat de bepaling voor een intraossaire dysfunctie, en daarmee de indeling van case- en controlegroep is gedaan op basis van manuele palpatie. Er is geen eerder onderzoek gedaan naar de betrouwbaarheid van het vaststellen van intraossaire dysfuncties op basis van manuele palpatie. Hierdoor is het niet duidelijk of de manuele palpatie dan ook kan worden gezien als een gouden standaard. Het is opmerkelijk dat uit een groep van 43 participanten een splitsing komt van 20 op 23, want bij het begin van de thermografische metingen is er nog geen indeling gemaakt. Hierdoor had er ook een onevenwichtig ratio kunnen ontstaan met daardoor een te kleine omvang van case- of controlegroep. Muntinga stelt vast dat hij middels thermografie een intraossaire dysfunctie kan vaststellen. Er is echter nog geen onderzoek gedaan naar de sensitiviteit en specificiteit van thermografie op intraossaire dysfunctie. Mogelijkerwijs kunnen andere fysiologische verschijnselen een verlaagde huidtemperatuur geven en zo een vals positief resultaat geven. Het onderzoek van Muntinga is uitgebreid beschreven en biedt een interessante conclusie, welke de mogelijkheid geeft om meer objectiviteit te creëren binnen het onderzoek naar intraossaire dysfuncties en de behandeling hiervan. Ondanks de eerder genoemde opvallendheden binnen de methodiek is het onderzoek prijzenswaardig. Het gebied van intrasossaire dysfuncties is erg gering onderzocht en hierdoor zijn er geen eerdere evidence based fundamenteën om je onderzoek op te kunnen bouwen.

---

#### 4.2.2 THIBAUT

---

Thibault heeft zijn thesis (2009) geschreven over het behandelen van intraossaire dysfuncties na een fractuur van de radius. Hij beschrijft zijn onderzoek als een randomized simple-blinded clinical trial met 28 participanten. Alle participanten krijgen aan het begin van de studie een osteopathische behandeling, om de twee groepen te standaardiseren, zo zegt Thibault. De interventiegroep kreeg hierop volgend twee osteopathische behandelingen met daarin intraossaire technieken inbegrepen. De controlegroep kreeg twee placebo behandelingen. De gemeten parameters voor het onderzoek waren ultrasonografie, knijpkracht en de mobiliteit van de pols en onderarm. Alhoewel er een significant verschil gevonden is voor de vooruitgang in mobiliteit van de pols en onderarm en de knijpkracht in de interventie groep, is dit verschil ten opzichte van het verschil in de controlegroep niet significant. Daarnaast is er ook geen significant verschil gevonden in de interventiegroep op basis van ultrasonografie. In de groep participanten is nog het onderscheid gemaakt tussen jonge atleten en participanten boven de 55 met vergrote kans op osteoporose. Hierin zijn geen bijzonderheden naar voren gekomen. Thibault heeft in zijn exclusie criteria gekozen om participanten met open breuken, breuken waaraan geopereerd is en bijkomende infecties uit te sluiten. Er is gekozen voor simpele en stabiele breuken. In het onderzoek wordt voor de rest niet beschreven hoe is vastgesteld of een intraossaire dysfunctie aanwezig is. Hierdoor lijkt er te zijn uitgegaan dat een breuk aan de radius op zichzelf leidt tot een intraossaire dysfunctie. Alhoewel dit aannemelijk lijkt, is het de vraag of bij alle participanten een intraossaire dysfunctie aanwezig was, die een beperking gaf binnen de te meten parameters. Dit kan de resultaten beïnvloeden, aangezien het mogelijk is dat niet alle participanten een intraossaire dysfunctie hadden en daarmee ook geen significant verschil zouden tonen na de interventie.

---

### 4.2.3 HORTON

---

De doelstelling van Horton (2011) was om het effect van intraossaire technieken op lange beenderen, met een breuk in de voorgeschiedenis, te quantificeren middels ultrasound. De opzet van zijn studie is single blinded met 72 participanten. Als interventiegroep zijn de lange beenderen geplaatst, waarbij een fractuur heeft plaatsgevonden in de voorgeschiedenis. Als controlegroep zijn de contralaterale lange beenderen geplaatst, waarbij geen breuk is vastgesteld. De interventiegroep onderging een behandeling, bestaande uit vijf intraossaire technieken. De controlegroep onderging geen behandeling. De grootte die is gemeten, middels ultrasound, is de geluidssnelheid, welke is uitgedrukt in meter per seconden. Op beide groepen zijn drie metingen verricht, in de tijd. De eerste twee metingen waren vlak voor en na de interventie. De derde meting was 10 tot 14 dagen na de interventie. Met een p-waarde van 0.165 is geen significant verschil gevonden binnen de drie meetmomenten, in beide groepen. Binnen de interventiegroep zelf was er een significant verschil tussen de metingen van vlak voor en na de behandeling. Deze was echter niet significant, afgezet tegenover het verschil bij de controlegroep. Wel geeft Horton aan dat hij enkele bijzonderheden heeft gevonden qua vaststellen van een intraossaire dysfunctie. Met een p-waarde van 0.018 was er een significant verschil in de geluidssnelheid tussen de controlegroep en de interventiegroep. Ondanks de negatieve bevindingen aangaande zijn doelstelling, biedt ook dit onderzoek perspectief voor het vaststellen van intraossaire dysfuncties. Maar net zoals bij Muntinga (2013) zal verder moeten worden onderzocht wat de sensitiviteit en specificiteit is van ultrageluid op het vaststellen van een intraossaire dysfunctie. Zolang er geen consensus of gouden standaard is voor een intraossaire dysfunctie kunnen geen absolute conclusies worden getrokken uit onderzoeken zoals deze. Doordat de behandeling slechts uit intraossaire technieken bestond, kan er moeilijk een uitspraak worden gedaan over het effect van intraossaire technieken in een osteopathische behandeling. Door de intraossaire technieken te integreren in een osteopathische behandeling kunnen andere in stand houdende factoren of dysfuncties worden opgeheven en kan een beter resultaat behaald worden.

---

### 4.2.4 ARCAND

---

Arcand schreef zijn thesis (2011) over het behandelen van intraossaire dysfuncties in de tibia. Hij doet dit door zijn onderzoek op 29 participanten op te splitsen in twee delen. In het eerste gedeelte meet hij de effecten van een placebobehandeling, op alle participanten, middels een randomized simple blinded experiment. In het tweede gedeelte worden de participanten opgedeeld in een placebo groep en een interventie groep. De interventiegroep krijgt een 'osteopathische behandeling', zo zegt Arcand. In de methode staat echter aangegeven dat de behandeling uitsluitend bestaat uit intraossaire technieken. De behandeling duurt dan ook niet meer dan vijf minuten per been. Deze behandeling gaat voorbij aan het totaalbeeld, waarbij een dysfunctie onderdeel kan zijn van een groter dysfunctie mechanisme. Een betere benaming voor de behandeling zou dan ook een 'intraossaire behandeling' geweest zijn, in plaats van een osteopathische behandeling. De resultaten tussen de placebogroep en interventiegroep werden vergeleken, middels een randomized double-blinded experiment. De gemeten parameters waren pijn en posturale

stabiliteit tijdens stand op één been. De selectie voor intraossaire dysfuncties is gemaakt aan de hand van palpatie en fysieke trauma's aan het onderbeen in de voorgeschiedenis. Arcand zegt in zijn methode: *expérimentation s'effectua sur des sujets actifs et en santé ayant potentiellement des lésions osseuses tibiales par la pratique de leurs sports ou de leurs activités*". Grofweg vertaald wordt hier gezegd dat het experiment wordt uitgevoerd op participanten met mogelijke intraossaire dysfuncties aan de hand van de sport die zij uitoefenen. Het vaststellen van een intraossaire dysfunctie is weinig onderzocht. En alhoewel het onderzoek van Muntinga (2013) en Horton (2011) perspectief bieden voor het objectiveren van intraossaire dysfuncties middels thermografie en ultrageluid, is er nog geen evidentie over het betrouwbaar vaststellen van een intraossaire dysfunctie middels palpatie. De indeling van de participanten middels palpatie en de voorgeschiedenis is hierdoor twijfelachtig, zoals deze ook zijn in de studie van Muntinga (2013). Uit de resultaten van Arcand kwamen geen significante bevindingen die zijn hypothesen konden bevestigen. De twijfelachtige vaststelling en indeling van de interventie- en controlegroep, samen met het voorbijgaan aan het totaalbeeld van het dysfunctiemechanisme zorgt ervoor dat geen definitieve uitspraak kan worden gedaan over het effect, of de afwezigheid van effect, van een intraossaire techniek

---

#### 4.2.5 BROWN

---

De laatste studie betreft een kwalitatieve studie (Brown, 2008). Het doel van Brown was om de internationale communicatie omtrent intraossaire dysfuncties te verbeteren, een dieper begrip te creëren omtrent intraossaire dysfuncties en studenten osteopathie een betere basis te geven voor het werken met intraossaire dysfuncties. Dit doet Brown middels vragenlijsten en literatuuronderzoek. De vragenlijsten zijn ingevuld door meer dan 1000 osteopaten en studenten osteopathie, internationaal. Brown laat een passie zien voor zowel het vak osteopathie als het samenbrengen van wetenschappelijk onderzoek en het invoelend vermogen van de osteopaat. Het resultaat van Brown is een omvangrijk document, rijk aan referenties en theorieën omtrent intraossaire dysfuncties en de behandeling ervan. Daarnaast geeft ze richtlijnen voor het opstellen van modules voor het Canadian College for Osteopathy en stuurt ze aan de hand van deze thesis een verzoek naar The World Osteopathic Health Organisation voor de toevoeging van de term 'intraosseous lesion', 'intraosseous strain' en 'intraosseous dysfunction'.



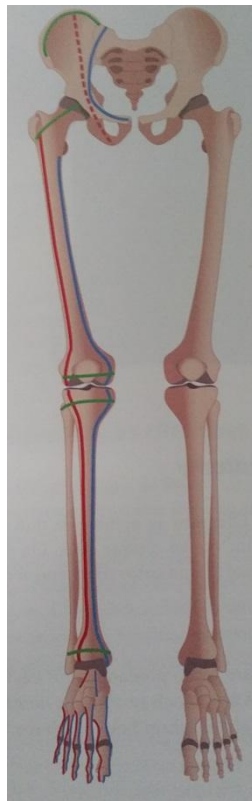
## 4.3 INTRAOSSAIRE DIAGNOSTIEK

---

### 4.3.1 CHAUFFOUR

---

In zijn boek over intraossaire dysfuncties beschrijft Chauffour (2012) hoe hij intraossaire dysfuncties diagnosticeert. Hij beschrijft niet hoe hij tot het inzetten van de diagnostische testen komt, maar geeft per bot enkele testen voor de lezer om toe te passen in de praktijk. Chauffour zegt dat hij bij de onderste extremiteiten begint en vanaf onder naar boven alle botten mee neemt in zijn diagnostiek. Binnen zijn testen maakt hij gebruik van compressietesten binnen 'lines of force', die we voor het gemak in dit onderzoek krachtlijnen zullen noemen. Los of het gaat om lange beenderen, zoals de tibia, of platte beenderen, zoals het scapula, beschrijft Chauffour drie verschillende krachtlijnen. De krachtlijnen deelt hij in drie assen, de laterale, de mediale en de intermediaire as. Bij de mediale en laterale krachtlijnen gaat het, zoals het al op te maken is uit de naam van de assen, over een longitudinale lijn door de mediale en laterale cortex van de beenderen, zie figuur 19. De intermediaire krachtlijn is een transversale lijn tussen de twee epifysen van de lange beenderen. Bij de platte beenderen, waarbij geen indeling is aan de hand van cortex en epifysen, wordt deze indeling aangehouden en een visuele weergave gegeven per bot. In zijn boek geeft Chauffour per botstuk de drie lijnen weer en beschrijft de uitvoering van de diagnostische testen per lijn. Per botstuk komt het op dezelfde principes neer. Middels een compressie op de lijnen beoordeelt de osteopaat de het bot op malleabiliteit en elasticiteit door een opvoeren van de druk in de krachtlijn. Dit doet hij door aan weerszijde van de lijn zijn duim of vingers te plaatsen en een compressie in de krachtlijn te creëren door de weerszijde naar elkaar toe te drukken. Chauffour laat zich niet specifiek uit over de kracht van deze druk, maar uit de context is op te maken dat deze niet zeer krachtig is, maar eerder



Figuur 19 Lines of force (Chauffour, 2012)

zacht van aard. Verder in zijn boek maakt Chauffour nog onderscheid in intraossaire dysfuncties in de diafyse en metafyse. Voor het onderzoeksmethodiek van de diafyse gebruikt Chauffour de tibia. Hier geeft hij een sequentie van bewegingen die de osteopaat op de diafyse van de tibia kan uitoefenen. Hierbij gaat het om een anterior buigen, posterior buigen, mediaal buigen en lateraal buigen van de tibia met daarna een mediale torsie, laterale torsie en axiale tractie. Diagnostiek voor de metafyse bestaat uit het lokaliseren van de grenzen van de metafyse, waarna er wordt getracht de grenzen van de metafyse door middel van tractie van elkaar weg te bewegen. Naast intraossaire dysfuncties beschrijft Chauffour ook articulaire diastasen, die hij later in een apart hoofdstuk toelicht. Chauffour geeft aan dat een geoefend osteopaat ongeveer vijf minuten nodig heeft om alle te onderzoeken botten, zoals aangegeven in zijn boek, van onder naar boven te testen. Hieruit is op te maken dat hij een verzamelmethode hanteert in zijn onderzoek en daarbij alle botten meeneemt in zijn onderzoek. In een paragraaf over klinische overwegingen geeft hij aan dat intraossaire dysfuncties veelal ontstaan aan de hand van fysieke trauma's, breuken, operaties en langdurige strains op botstukken, zoals strakke ballerina schoenen bij ballerina schoenen bij ballerina's.

---

#### 4.3.2 MAGOUN

---

In een artikel in de 'Cranial Letter' van mei 1999 beschrijft Magoun een persoonlijke ervaring. Magoun, bekend van zijn expertise in het craniosacrale gebied, beschrijft een voorval waarbij hij voor het eerst kennis maakt met een intraossaire dysfunctie in de extremiteiten. Tijdens een skivakantie maakt hij een onverwachte beweging en ervaart hierbij vrijwel direct sterke beperkingen. De dagen daarna kan hij niet zonder steun lopen en gebruikt bij het lopen een stok. Hij onderzoekt zichzelf, maar komt geen behandelbare grootheden tegen. Bij het gebrek aan behandelbare grootheden maakt Magoun een deductie en komt uit op de waarschijnlijkheid dat er een intraossaire dysfunctie aanwezig kan zijn. Aan de hand van het terugblikken op de richting van het trauma gebruikt Magoun een directe techniek, de tegengestelde kant op van het trauma, en ervaart vrijwel meteen verbetering. Alhoewel Magoun hier geen diagnostische methodiek beschrijft, laat hij hier de mogelijkheid zien om middels een anamnese en deductie op een intraossaire dysfunctie uit te komen. Middels een behandelend onderzoek bevestigt hij zijn differentiaaldiagnose.

---

#### 4.3.3 HELLER

---

Heller is een chiropractor die geïnspireerd is door Chauffour om verder te kijken dan de articulaire beperkingen. Hij schrijft een drietal artikelen over intraossaire dysfuncties. In zijn eerste artikel (Heller, 2001) bedankt hij Chauffour voor zijn inspiratie die hij gekregen heeft tijdens het volgen van een seminar van Chauffour. In zijn artikel over intraossaire dysfunctie rond het bekken en femur (Heller, 2004) beschrijft hij de diagnostiek aan de hand van drie assen. De assen van het bekken en werkwijze die Heller beschrijft wijken dan ook niet ver af van die van Chauffour over het bekken. In zijn eerste artikel (Heller, 2001) beschrijft Heller een soortgelijke benadering als die van Chauffour (Chauffour, 2012) over intraossaire dysfuncties in de diafyse. Hij begint met een luistertest, om waar te nemen welke kant het bot heen wil. Hierop volgend probeert hij het bot te buigen. Hiervoor gebruikt hij geen grote

kracht, maar heeft het in zijn artikel over “gently to bend or bow the bone” en zegt “You do not need enormous force to feel for give in a bone, just sink to this level and “bow” the bone.” In zijn derde artikel (Heller, 2005) over het tibia en femur geeft hij meer verduidelijking over de verdeling in assen en neiging tot buigen. Over het eerste type zegt Heller (2005): “One is a long axis problem of linear compression or linear expansion. You can test this with palpation by grasping the whole bone, above and below the area of the lesion, and first compressing and then pulling apart.” Over het tweede type zegt Heller: “The second major type of intraosseous restriction is a lack of bowing, a lack of bending of the bone. Begin by engaging, sinking into the feel of the bone. You are just trying to get a sense of the normal “give” within a bone, compared with the stiffness of the subluxation. Please, don't press too hard.” Ook hierin wordt duidelijk dat Heller het heeft over zachte technieken. Naast het onderzoeken volgens deze indeling zegt Heller (Heller, 2005) dat een intraossaire dysfunctie vaak gepaard gaat met spierknopen ter hoogte van de intraossaire dysfunctie. Als voorbeeld geeft hij spierknopen in de musculus gastrocnemius bij een intraossaire dysfunctie van het tibia.

---

#### 4.3.4 DAVIDSON EN JUHL

---

In een sectie van ‘The Journal of American Osteopathic Association’, waar lezers brieven kunnen inzenden als reactie op eerdere artikelen, heeft Davidson (2005) een brief geschreven als reactie op een artikel van Juhl (2004) over posturale asymmetrie van het bekken. Als aanvulling op het artikel wil Davidson het intraossaire aspect toevoegen aan de diagnostiek betreffende deze asymmetrie. Hij schrijft; “I have also observed that intraosseous strains affect not only the width and depth of the pelvic structure on the side of the strain. They can also affect the flaring of the lower extremity (a crucial factor in tracking while walking) and the depth of the acetabulum (an important factor in leg length and in developmental dysplasia of the hip in infants).” Hij beschrijft zijn methodiek als volgt; “I have discovered an easy and effective diagnostic method for assessing the degree of pelvic asymmetry. It involves the use of two landmarks: (1) the pubic tubercle, and (2) the inferior aspect of the anterior superior iliac spine. One performs this assessment after normalizing pubic and sacroiliac mechanical malalignments”. Hoe hij de breedte en diepte en de flaring vaststelt aan de hand van deze ‘landmarks’ wordt niet beschreven. Er wordt niet genoemd hoe deze asymmetrieën stand komen of welke beperkingen of dysfuncties hieraan ten grondslag liggen. Wel geeft hij dus aan dat hij de malalignment van pubis en sacroiliaal eerst behandelt. In zijn brief gebruikt Davidson geen referenties of literatuurverwijzingen en lijken zijn uitspraken te zijn gebaseerd op praktijkervaringen. Als reactie op deze brief, in dezelfde sectie van hetzelfde volume (Juhl, 2005), schrijft Juhl dat hij zich gedeeltelijk kan vinden in het inzicht van Davidson, maar dit nog ziet als een hypothese die verder onderzocht dient te worden. Juhl is voorzichtiger met zijn uitspraken en geeft dan ook aan; “I am not ready to make correlations between pelvic patterns of asymmetry on standing radiographic films and patterns of somatic dysfunction”, waarmee hij zich nog onthoudt van uitspraken over intraossaire dysfuncties, tot meer evidentie zich voordoet.

## 4.4 INTRAOSSAIRE BEHANDELING

---

### 4.4.1 CHAUFFOUR

---

Waar Chauffour (2012) per botstuk uitschrijft hoe botten kunnen worden onderzocht, is dit niet gedaan voor de behandeling ervan. Voorafgaand aan de diagnostische testen beschrijft Chauffour dat er voor de behandeling van intraossaire dysfuncties kan worden vertrokken vanuit de uitgangspositie van de diagnostische testen. Er wordt dan ook eerst een druk opgebouwd volgens de krachtlijn, die positief is bevonden tijdens het onderzoek. De druk wordt opgebouwd en vervolgens middels een recoil losgelaten. In zijn boek beschrijft Chauffour deze recoil techniek in drie stappen: “Place the structure under tension”, “impulse against the restriction” en “withdraw”. Als afsluiting in zijn boek (Chauffour, 2012) pakt hij enkele positieve testen eruit en geeft hier voorbeelden van. Zowel voor de krachtlijnen als de diafyse en metafyse dysfuncties gebruikt hij dezelfde drie stappen.

### 4.4.2 HELLER

---

In zijn eerste artikel (Heller, 2001) geeft Heller een keuze tussen twee benaderingen om intraossaire dysfuncties te behandelen. De eerste noemt hij de ‘engage-release’ ofwel een recoil. Heller zegt; “Remember to use the lightest touch that gets you to the level you are palpating”, waaruit valt op te maken dat het gaat over een directe techniek met een zo zacht mogelijke druk. De tweede techniek noemt Heller een ‘engage-listen-follow’ techniek. Hij zegt hierover; “engage the restriction, find the barrier into the 3-D direction of maximal resistance, and then listen and follow as the body releases the restriction”. Ook hier gaat het over een directe techniek. In een ander artikel (Heller, 2005) voegt hij hieraan toe dat een effect merkbaar is op 10 tot 60 seconden na het aanhouden van de techniek

### 4.4.3 MAGOUN

---

In zijn artikel beschrijft Magoun (1999) dat hij tijdens het skiën zijn knie verdraait, waarbij zijn onderbeen naar binnen roteert. Als corrigerende techniek beschrijft hij; “I sat down, took the upper portion of the tibial head in my left hand, the lower portion of the tibial head in my right hand, slightly separated my hands and applied a gentle external rotation on the tibial head, with very prompt relief. I repeated the process several times a day, and in three days the pain was entirely gone, with only a slight amount of tenderness”. De beschrijving van de techniek is kort, waardoor er vraagtekens blijven over de exacte uitvoering en impuls die Magoun gaf aan de kop van zijn tibia. Het naar externe rotatie bewegen bij een trauma naar intern, duidt op een directe techniek. Het is onduidelijk of beide handen de externe rotatie bewerkstelligen, of dat er een torsie werd gecreëerd doordat één hand een tegengestelde kracht uitoefende. Magoun specificeert niet welk deel van de kop hij behandelt. De onduidelijkheid over de precieze locatie en de beweging die is uitgevoerd maakt het niet mogelijk meer over de techniek te zeggen dan dat het gaat over een directe techniek. Het is onduidelijk of de ‘prompt relief’ duidt op een plots loslaten van de techniek

door middel van een recoil, of dat de 'prompt relief' ging over een vrijwel direct wegebben van de klachten.

---

#### 4.4.4 JECMEN

---

In een artikel in de 'Cranial Letter' van 2002 schrijft Jecmen over zijn ervaring met intraossaire dysfuncties. Hij geeft als voorbeeld een behandeling, als osteopaat, aan een dame met klachten aan de knie na een ski ongeval. Hij schrijft in zijn artikel; "I compressed the long bone, adding the appropriate rotation and held it. It began to throb much as one experiences with other "pumping activity" when treating the skull for a fixed lesion. It continued to do so, and I changed pressure and dimensional input as the patient began to move in strong discomfort, finally reaching the point where she shouted, "It feels like my leg is going to break!" Suddenly, the injury released and the patient relaxed back to the table. The torque was gone!" (Jecmen, 2002). In de tekst is niet duidelijk of de gepast rotatie een direct of indirect karakter heeft. Aan de reactie van de patiënt zou kunnen worden afgeleid dat het gaat om een directe techniek met sterke druk, waarbij mogelijke pijnprovocatie optreedt. De 'dimensional input' na het aanleggen van de rotatie komt sterk overeen met de 'engage-listen-follow' van Heller, afgezien van het meer sturende karakter en de grotere druk van Jecmen. Naast de intraossaire technieken geeft Jecmen ook aan de voorkeur te hebben om de behandeling aan te vullen met het behandelen van de meridiaan banen.

---

#### 4.4.5 DAVIDSON

---

In zijn brief aan 'The Journal of the American Osteopathic Association' van 2005 over asymmetrie van het bekken adviseert Davidson om intraossaire dysfuncties te behandelen en de vorm en symmetrie van het bekken te normaliseren. Voor de intraossaire dysfuncties adviseert Davidson myofasciale release technieken, perifere toepassing van het craniale concept of neurofasciale release technieken. Mogelijk bedoelt Davidson hiermee dat hij de vorm en symmetrie herstelt door het uitvoeren van deze technieken, want in de rest van zijn brief beschrijft hij geen andere technieken om de vorm en symmetrie te herstellen. In zijn brief heeft Davidson het over het normaliseren van de vorm en symmetrie. Dit meet hij af aan de positie van enkele herkenningspunten, zoals het tuberculum pubis en de spina iliaca anterior superior. In zijn brief benoemt Davidson geen waarnemingen van weefsel uitdrukking, mobiliteit of andere aspecten van functie, in plaats van positie. Alhoewel positie en symmetrie niet onbeduidend zijn, is het ontbreken van evaluatie naar functie een gemis.

---

#### 4.4.6 VAN DER GEER

---

Leonard van der Geer (2014) schrijft in een artikel in 'De Osteopaat' over intraossaire dysfuncties. In dat artikel geeft hij enkele behandelprincipes prijs die aan bod komen in zijn cursus 'Back to the bone'. Deze zijn overgenomen en verwerkt in tabel 10. Van der Geer beschrijft dat hij de juiste compressie, tractie, torsie en schuifkrachten gerelateerd aan de restrictie instelt, om zo het lichaam de mogelijkheid te geven tot zelfcorrectie. Deze handeling noemt hij 'TissueDialogue', omdat het een voortdurende dialoog is tussen therapeut en het weefsel. Wat het precieze verschil is tussen deze twee types en de

behandeling daarvan wordt in het artikel niet verder op ingegaan. In een interview met van der Geer (van der Geer, L. Persoonlijke communicatie, 1 februari 2019) geeft hij verdere toelichting op zijn uitvoering van intraossaire technieken. Zoals in zijn artikel ook blijkt werkt van der Geer met directe technieken, waarbij hij de restrictie in alle assen opzoekt en instelt. Deze directe technieken zijn, anders dan die van bijvoorbeeld Buekens en Chauffour, hard en pijnlijk. Dit met het doel om de interne communicatie bij de patiënt aan te spreken. Hierbij maakt van der Geer geregeld gebruik van recoil, door middel van de chiropractische Adjustment Tool. Volgens van der Geer is een manuele recoil niet voldoende op een structuur als bot en maakt daarom gebruik van dit gereedschap. Het is onduidelijk hoe de Adjustment Tool aansluit bij het opzoeken van een restrictie middels een volgen van het weefsel, zoals van der Geer beschrijft in zijn 'TissueDialogue' methode. Voor het intraossair instellen van een restrictie in alle mogelijke assen, in combinatie met het hanteren van een Adjustment Tool, lijkt één paar handen te weinig. In het interview (van der Geer, L. Persoonlijke communicatie, 1 februari 2019) heeft van der Geer het over een assisteren van een student. Er is niet verder gevraagd of hij de Adjustment Tool ook gebruikt tijdens behandelingen zonder assistentie. Van der Geer houdt een techniek tot soms 20 minuten aan en de techniek is pas geslaagd als er een verandering plaatsvindt aan het oppervlakkig weefsel. Daarna gelooft van der Geer dat het lichaam, na het openen van communicatiekanalen, hier zelf mee verder gaat.

Tabel 10. Behandelprincipes van der Geer

1.	Zorg voor de juiste instelling / focus op de restrictie
2.	Werk eerst op de meest dominante restrictie
3.	Gebruik de 'intelligence of Nature' van de patiënt
4.	Combineer de verschillende manieren waarop bot informatie krijgt en verwerkt. De manieren van communicatie zullen in de cursus verder worden benoemd
5.	Neem de TIJD, stress-relaxation time (T1)
6.	Hertest en adapteer aan de veranderingen en stel een nieuwe prikkel in

---

#### 4.4.7 BUEKENS

---

Buekens is een osteopaat in Duitsland met affiniteit voor intraossaire dysfuncties. Buekens heeft in de loop van de jaren onderzoek gedaan naar intraossaire dysfuncties en geeft een cursus over intraossaire dysfuncties aan de 'Still Academy of Osteopathy' in Duitsland. In persoonlijke communicatie met Buekens, in de vorm van een interview, vertelt Buekens hoe hij vorm geeft aan een intraossaire techniek (Buekens, J. Persoonlijke communicatie, 10 januari 2019). Voor een intraossaire techniek verwijst hij eerst naar wat voor hem de invulling is van een osteopathische techniek. Voor Buekens is een osteopathische techniek het aanbieden van een fulcrum aan het betreffende weefsel. Het weefsel reageert op de fulcrum door zich in een nieuwe spanningstoestand te brengen. Buekens doet dit op het botweefsel middels een directe maar zachte techniek. Hij gaf aan dat de techniek 15 minuten kan duren en verandering al kan optreden tijdens de techniek. Hij benadrukt dat zijn input in het weefsel gering is en dat het botweefsel zijn eigen vrijheid vindt.

---

#### 4.4.8 BUSKIRK

---

Op basis van de theorie van segmentale relaties, welke bij verklaringsmodellen wordt toegelicht, oppert Buskirk bij een osteopathische dysfunctie een indirecte aanpak (Buskirk, 1990). Er wordt voor nu uitgegaan dat een intraossaire dysfunctie zich schaart onder de osteopathische dysfuncties. Een intraossaire dysfunctie zal, net zoals bij een dysfunctie in ander weefsel, een constante afferente prikkelingsbron zijn, welke een segmentale facilitatie tot gevolg kan hebben (Korr, 1947). Buskirk brengt bij een osteopathische dysfunctie het weefsel naar zijn vrijheid en houdt deze 90 seconden aan. Om de behandeling te complementeren adviseert Buskirk het gebruik van NSAID na de behandeling.

## 4.5 VERKLARINGSMODELLEN

---

### 4.5.1 CHAUFFOUR

---

In zijn boeken heeft Chauffour het veel over de trabeculaire krachtlijnen. Deze vormen voor Chauffour een functionele eenheid, die ononderbroken door het lichaam lopen (Chauffour & Prat, 2002). Hij refereert naar de intraossaire dysfuncties als een 'fixity of lines of force' en dat deze vaak over het hoofd worden gezien in een fysiek onderzoek. Volgens Chauffour is deze ontdekking een van de belangrijkste van de afgelopen jaren (Chauffour & Prat, 2002). In zijn boek over de 'osteopathic lesion of bone' (Chauffour, 2012) vult hij dit aan met: "One of the principal functions of bone is to resist forces of compression. Absorption is an intrinsic capacity of bony material to diminish and soften the loads that are placed upon it. This ability allows the liquid in bone, particularly blood which irrigates bone (canals of Havers) to achieve hydrostatic pressure. Dispersion is the capacity of bony tissue to redistribute the mechanical forces which have been placed upon it to render them less intense. This dispersion of forces is possible thanks to the marvelous anatomical organization and interconnection of the different lines of force. We will call "compressibility" a normal biomechanical quality of a line of force". De aanwezigheid van trabeculaire lijnen en het effect daarvan op de belastbaarheid van bot is evident (Currey, 2002). De krachtlijnen van Chauffour worden echter beschreven als functionele ononderbroken lijnen door het hele lichaam. Deze krachtlijnen bieden volgens Chauffour (2012) een rasterwerk, welke het speelveld vormt voor principes zoals 'biotensegrity' en 'mechanotransductie'. Een verminderde tensegrity in bot veroorzaakt volgens Chauffour een vergrote kwetsbaarheid voor de zwaartekracht. Maar ook op cellulair niveau schetst Chauffour het cytoskelet en de celnucleus als een tensegrity structuur, vatbaar voor mechanotransductie. Een restrictie in dit weefsel zal volgens Chauffour daarom een stoorzender zijn in de cellulaire fysiologie en metabolisme. Alhoewel deze insteek strookt met het osteopathisch beeld van een continuïteit van weefsel door het hele lichaam, is er tijdens dit literatuuronderzoek geen evidentie gevonden van een continuïteit van trabeculaire lijnen door het hele lichaam. Wel zijn de trabeculaire lijnen in bijvoorbeeld bekken, talus en processus spinosus duidelijk beschreven (Currey, 2002), maar de vraag rest of deze een anatomische of functionele biomechanische eenheid vormen door het hele lichaam. In een interview met van der Geer laat deze dan ook zijn twijfel merken over de krachtlijnen van Chauffour, daarmee niet ontkrachtend dat de trabeculaire lijnen een essentieel aspect vormen van een intraossaire dysfunctie (van der Geer, L. Persoonlijke communicatie, 1 februari 2019). In zijn boek zegt Chauffour niet specifiek dat deze krachtlijnen uitsluitend uit trabeculaire lijnen bestaan of deze ook naar de myofasciale lijnen verwijzen, zoals bijvoorbeeld beschreven door Meyers (Meyers, 2009). Verder kan uit de referentie (Chauffour, 2012) worden opgemaakt dat hij de brug maakt naar hydrostatische functie van 'bone fluids', waarbij Chauffour voornamelijk verwijst naar bloed voor de 'dispersion' en 'distribution' van van krachten binnen de krachtlijnen. Over het effect van een intraossaire dysfunctie op de grotere keten zegt Chauffour (2012): "A fixation of a line of force is usually the key element of excessive tension in a myofascial chain. As we normalize this line of force, all of its associated insertion on soft tissue are liberated, often immediately and in a spectacular way. Consequences resulting



from rigidity of a line of force undeniably affect the whole articular system. Osseous constraints, insufficiently buffered and dispersed, are directly transmitted to periarticular soft tissues and to neighboring articular cartilages, resulting in slow and insidious degradation of the involved structures". Hieruit af te leiden is dat het oplossen van een intraossaire dysfunctie de gerelateerde aanhechtingen van het zachte weefsel bevrijdt. Een effect zou dan vrijwel direct waarneembaar en spectaculair zijn. Het effect zou ontegenzeggelijk zijn in het gehele articulaire systeem. Het taalgebruik van Chauffour is krachtig en overtuigend. Naast het enthousiasme geeft het echter geen beter begrip van een intraossaire dysfunctie of de werking van een intraossaire techniek. Chauffour beweert dan ook nergens in zijn schrijven het wetenschappelijk te verklaren en baseert zijn technieken op basiskennis betreffende bot en de resultaten in de praktijk.

---

#### 4.5.2 BURNS

---

Louisa Burns is een osteopaat, welke in de vroege 20e eeuw onderzoek heeft gedaan naar de fysiologie van de viscerosomatische reflex. Ze was directrice van het 'A.T. Still Research Institute'. Ze heeft verschillende experimenten en publicaties uitgebracht over 'bony lesions'. In een reeks schoolboeken, geschreven door Burns voor "The A.T. Still Research Institute" (Burns, 1931), schrijft ze een volume over bloedcellen. Daarin beschrijft ze het effect van 'bony lesions' op de vascularisatie van beenmerg en de consequentie daarvan voor het organisme. In dit boek richt ze zich op de ribben, omdat de ribben de grootste massa rood beenmerg bevatten. Burns wil vooral het effect van bony lesions op de innervatie en vascularisatie van beenmerg in de ribben uitlichten. Innervatie en vascularisatie komen gezamenlijk binnen via foramina, welke Burns de 'nutrition foramina' noemt. Aannemelijk is dat Burns het in dit geval heeft over de foramina waar de nervus perforans laterale passeert, omdat deze in de buurt zit van de angelus costae en Burns later beschrijft dat dit 'nutrition foramina' zich rond de angelus costae bevindt. De vasomotorische zenuwen komen van sympathische ganglia van de laterale keten en de cellen hiervan worden gecontroleerd door zenuwcentra in de laterale hoorn. Het segment van waar de vasomotorische controle wordt gegeven is het segment dat het meest geassocieerd is met de aanleg van het bot tijdens de vroege embryologische skeletale structuur. Door de grote migratie van verschillende soorten mesoderm tijdens de embryologische groei, en dat de segmentale relatie behouden blijft tijdens de verschuiving en verdere groei, vertoont de volgroeide innervatie en vascularisatie vele puzzels en vraagstukken. De problemen kunnen volgens Burns worden opgelost door het goed bestuderen van de embryologische relaties van bot, zenuwen en spieren. De vasomotorische zenuw volgt het bloedvat naar elke ramificatie binnen het rode beenmerg en daar eindigen ze in losse zenuweinden. Deze uiteinden zijn het meest aanwezig in de arteriolen en minder aanwezig in venules, arteriën, venen en capillairen. Deze zenuwen zijn niet gemyeliniseerd. De afferente zenuwen zijn gemyeliniseerd en gaan naar het posterieure ganglia van het spinale segment vanwaar de efferente zenuw vertrekt. Deze afferente zenuw gaat in het medulla over in grijze stof in posterieure en laterale hoorn. Vooral in de thoracale segmenten is dit interessant sinds deze het beenmerg in de ribben innerveren, volgens Burns het belangrijkste hematopoëtische weefsel. De sensorische zenuwen van het rode beenmerg zijn niet dicht verbonden met de hersencentra en erge afwijkingen in beenmerg hoeven dan

ook geen ongemak te veroorzaken. Pas als letsel uitwijkt naar het periost kan er een doffe pijn ervaren worden. Burns is er zeker van dat de functie van deze sensorische zenuwen geassocieerd zijn met de lokale vasomotorische centra van dat segment en dat de impulsen die deze zenuwen voortbrengen naar dat segment ook effect hebben op al het weefsel wat is aangesloten op dat segment. Burns beschrijft een boney lesion als een positieverandering van bijvoorbeeld wervel of rib, welke in een bewegingsrichting blijft gepositioneerd, terwijl het lichaam reeds is terug bewogen naar de uitgangspositie. Deze lesion veroorzaakt oedeem met ophoping van afvalstoffen en een tekort aan oxidatie processen van de cellen in de nabije omgeving van het weefsel. De zenuwen die het foramen intervertebrale passeren zijn gevoelig voor deze opbouwende druk. Ook sympathische ganglia zijn vatbaar voor datzelfde pathogene proces. De niet gemyeliniseerde zenuwen zijn vatbaarder hiervoor dan de niet gemyeliniseerde zenuwen. De efferent, niet gemyeliniseerde zenuwen, die de 'nutrition foramina' van de ribben binnentreden, zijn dan ook vatbaar voor deze vocht- en drukverandering. Hierdoor wordt de vasomotorische innervatie, door de ongemyeliniseerde efferente zenuwen, verstoord, met als gevolg een productie van abnormale rode bloedcellen. Burns zegt dat het gevolg hiervan een anemie is voor het betrokken weefsel en dat de grootte hiervan afhankelijk is van het aantal getroffen segmenten. Burns zegt dat dit waarneembaar is bij het microscopische onderzoeken van een uitstrijkje van het bloed. De hoeveelheid van deze afwijkende cellen is dan afhankelijk van het aantal betrokken segmenten. Verder in dit volume gaat Burns verder in op de implicatie van deze pathogenese. Hierbij beschrijft ze functionele veranderingen aan organen van bijvoorbeeld de schildklier en de lever, maar ook het effect van deze anemie op de ontwikkeling van verschillende soorten bloedcellen, lymfocyten en transporteiwitten. Vanuit het standpunt van Burns over de intraossaire dysfunctie op oedeem, anemie, verminderde vascularisatie en innervatie gaan er deuren open naar alle organen en systemen van het lichaam. Zoals doet vermoeden geeft Burns dan ook aan dat de implicaties van deze boney lesions groots zijn. In haar ruim 300 bladzijden tellende volume gaat ze dan ook gedetailleerd door deze implicaties heen middels toelichtingen op de genoemde organen en casusvoorbeelden. Het schrijfwerk van Burns is boeiend en gepassioneerd geschreven. De implicaties laat de lezer buiten het boekje denken en relaties leggen tussen verschillende systemen binnen het organisme. Dit is kenmerkend voor de osteopathie en creëert inzicht en kansen, maar is tegelijkertijd ook de valkuil van de osteopathie. Dat de theoretische link gelegd kan worden tussen verschillende systemen betekent niet per se dat er middels osteopathie ook invloed kan worden uitgeoefend op de fysiologie of immunologie van deze systemen. Burns lijkt te schrijven vanuit haar eigen inzichten en expertise en gebruikt hierbij geen bronnen of referenties naar onderzoeken.

---

#### 4.5.3 CAPOBIANCO

---

Capobianco heeft een tweedelig artikel geschreven over intraossaire dysfuncties in het craniale systeem (Capobianco, februari 2003; Capobianco, mei 2003). Capobianco zegt in zijn artikel van mei dat een intraossaire dysfunctie mogelijk is en behandelbaar, vanwege het gegeven dat 25% van het aanwezige water in een volwassene zich in het bot, dens bindweefsel en het actieve beenmerg bevindt. Een intraossaire dysfunctie zou de functie van het actieve beenmerg verstoren in termen van productie van rode bloedcellen. De artikelen

van Capobianco gaan voornamelijk over intraossaire dysfuncties in het craniale systeem, maar geeft hierin aan dat deze zich overal in het lichaam kunnen bevinden. Zo ook in andere botten die actief beenmerg bevatten, zoals het sternum en ribben. Hij raadt de lezer dan ook aan te denken aan intraossaire dysfuncties in gevallen van idiopatische anemie. Deze hypothese biedt potentie op een grote schaal, die ook door andere auteurs worden benoemd, Capobianco refereert hierbij niet naar onderzoeken of andere vormen van evidentie.

---

#### 4.5.4 JECMEN

---

Een interessant artikel om te lezen is dat van Jecmen (2002), over 'intra boney strains' in de 'Cranial Letter'. Jecmen verweeft modellen zoals het celgeheugen, biotensegrity, meridiaanbanen, motiliteit en het piëzo-elektrisch effect in zijn schrijven. Hij beschrijft het botweefsel als een extreem vruchtbaar gebied, bestaande uit een rasterwerk van ionen. Letsel verandert de opstelling van de ionen en het bot zal dit letsel reflecteren in het fasciale systeem. Door deze veranderde spanning zullen de elektrisch geladen gebieden zich verschuiven om zo het aangedane weefsel te accommoderen. Dit fasciaal systeem is weefsel wat middels biotensegrity veel informatie in de vorm van elektrische en mechanische prikkels doorgeeft. Het is dan ook vatbaar voor piëzo-elektrische activiteit. Deze veranderingen in de fascia is een uiting van de gebeurtenissen aan en in het lichaam. Waar volgens Jecmen de hersenen niet alle informatie kan opslaan, gebeurt dit wel in de perifere cellen van het lichaam. Elke groep cellen beweegt volgens Jecmen in een ritme, welke inherent is aan de motiliteit. Deze verandering in motiliteit van weefsel of een orgaan informeert zo andere organen en draagt bij aan het piëzo-elektrisch effect. Jecmen wijdt na deze uitleg uit over het effect hiervan op de meridiaanbanen en daarmee het effect op een verscheidenheid aan organen en systemen. Als laatste komt hij terug op het rasterwerk van ionen dat het bot vormt en een elektrische integriteit bezit. Het fascia zit vast aan dit bot, middels zijn aanhechting aan het periost. Deze overgang wordt bewerkstelligd, volgens Jecmen, door koperionen die vergelijkbaar zijn met een chip die informatie opslaat. Het schrijven van Jecmen is vloeiend gedaan met veel toepassingen van verschillende systemen, wat het interessant maakt om te lezen. Echter mist de literatuurlijst en de daarbij horende referenties. Dit schrijven van Jecmen kan dan ook alleen maar worden geïnterpreteerd als een expert opinion.

---

#### 4.5.5 HELLER

---

Ook Heller (2004) zoekt het in het celgeheugen van bindweefsel. Hij beschrijft de cel als meer dan een zak, door de aanwezigheid van integrines en het principe van biotensegrity en mechanotransductie. Hierdoor wordt een trauma of aanhoudende strain op het weefsel opgeslagen in de cel. Elk type bindweefsel reageert hier op een gelijksoortige manier op, in de vorm van een verhoogde strakheid van het weefsel met als gevolg een restrictie. Botweefsel is volgens Heller hier geen uitzondering op. Wat Heller bedoelt met een verhoogde strakheid en een restrictie licht hij niet verder toe. Heller geeft aan dat de wetenschapper in hem de lezer adviseert om in gedachten te houden dat dit enkel

speculatie en theorieën zijn en dat er nog een tekort is aan onderzoeken die deze speculatie en theorieën kunnen onderleggen.

---

#### 4.5.6 SEGMENTALE RELATIES VOLGENS DENSLOW, KORR, BUSKIRK, HOWELL EN WILLARD

---

Een theorie die niet zozeer het ontstaansmechanisme toelicht van een intraossaire dysfunctie, maar zich richt op de gevolgen van een dysfunctie in een groter plaatje, is die van de segmentale relaties. Een van de eerste om de segmentale relaties in het kader van een 'osteopathic lesion' te onderzoeken zijn Denslow en Clough (1941). Middels een electromyografisch onderzoek tonen zij aan dat er een segmentale 'muscle reflex' aanwezig is in een spier met een 'osteopathic lesion', welke gelijksoortig is aan de 'stretch reflex' of 'postural reflex'. Het onderzoek toont aan dat er een neuromusculaire activiteit is tussen het neurologische segment en de aangedane spier, in rust. Onaangedane spieren vertoonden geen neuromusculaire activiteit op de electromyografische metingen. Deze conclusie van Denslow en Clough is bescheiden, maar evident en legt zo een goede basis neer voor verder onderzoek naar segmentale relaties. Deze wordt dan ook aangegrepen door Korr (1947). Korr suggereert dat er door het constant binnenkomen van de neuromusculaire prikkels, op basis van de 'muscle reflex' in een aangedaan gebied, er een segmentale facilitatie ontstaat. Dit onderbouwt hij vanuit eerder onderzoek samen met Denslow en Kremms (1947) naar hyperirritability van een vijftal thoracale segmenten bij 'osteopathic lesions'. Hierbij wordt er op wervel thoracale 6 tot en met thoracale 10 druk uitgeoefend en middels elektromyografie waargenomen op welke segmenten de erector spinae reactief is. Er werd vertrokken vanuit de hypothese dat deze 'hyperirritability' komt door een overgevoeligheid van de vrije zenuwuiteinden of door 'hyperirritable motorneurons'. Uit het onderzoek van Denslow, Korr en Kremms kwam naar voren dat er meer uitstralende activiteit was naar de 'lesioned segments' bij druk op nabij gelegen wervels dan dat druk op een aangedane wervel een uitstraling gaf naar nabij gelegen segmenten. Hiermee bekrachtigen zij hun hypothese van een hyperirritabile motorneuron. Tevens veronderstellen Denslow, Korr & Kremms (1947), aan de hand van deze bevindingen, dat er zijtakken zijn tussen de segmenten, buiten de grotere tracti om. Informatieoverdracht vanuit andere segmenten passeren zo het gefaciliteerde segment, wat resulteert in excitatie door de verlaagde prikkeldeempel. Korr (1947) vergelijkt het gefaciliteerde segment met een bel, die afgaat door de neuronale activiteit die passeert. Deze aanname zou betekenen dat een osteopathische dysfunctie een groter effectgebied heeft dan het segment waar deze zich in bevindt. Dit werd verder bekrachtigd door aansluitend onderzoek middels verdoven met procaine. Verdoving werd aangebracht op het weefsel van de processus spinosus van het aangedane segment. Druk op dit segment veroorzaakte geen reactie in de erector spinae, terwijl druk op nabij gelegen wervels wel een reactie gaf in de erector spinae van het verdoofde segment. Zij veronderstellen hierdoor dat het motorneuron in het aangedane segment een verlaagde reflex threshold heeft en eerder activiteit zal vertonen. Korr zegt in zijn eigen artikel; "As a result of the continuous barrage of impulses which they fire into the cord at their level, the anterior horn cells of the corresponding segment are maintained in a state of chronic facilitation at a high level of subliminal excitation, even during rest" (Korr 1947). Korr licht in zijn artikel nog twee principes toe om de omvang van dit fenomeen duidelijk te maken. Als eerste licht hij het principe van reciprociteit toe; "The principle of reciprocity states that

through the network of interneurons (also known as internuncial neurons, intercalated neurons, and connector neurons), which is situated within the central nervous system, every neuron potentially influences, and is influenced by, almost every other neuron in the body". Samengevat legt Korr hierop volgend uit dat een gefaciliteerde motorneuron zijn invloed uitoefent op andere motorneuronen in het segment of een nabijgelegen segment. Over het principe convergentie zegt hij; "The principle of convergence states that many nerve fibers converge upon, and synapse with, each motoneuron. These presynaptic fibers convey impulses from a large variety of sources to the efferent neuron, which, therefore, represents a final common path". Een actiepotentiaal vanuit een motorneuron zou volgens Korr daardoor meer activiteit teweeg brengen dan enkel in het doelorgaan. De principes van reciprociteit en convergentie suggereren dat de afferente informatie van een osteopathische dysfunctie een groot scala van efferente activiteit veroorzaakt in weefsel dat geïnnerveerd wordt vanuit dat segment of nabij gelegen segmenten. Dit zou een verklaringsmodel kunnen zijn voor de aanpassingen in spierspanning en andere veranderingen in bindweefsel in een keten met een intraossaire dysfunctie. Daarbovenop geeft Korr ook aan dat het volgens hem niet alleen bij motorneuronen blijft in de anterieure hoorn. Deze staat van facilitatie kan voorkomen bij elke motorneuron die middels een osteopathische dysfunctie een constante stroom van afferente prikkeling ontvangt. Hierover zegt Korr; "The state of facilitation may extend to all neurons having their cell bodies in the segment of the cord related to the lesion, including the anterior horn cells, preganglionic fibers of the sympathetic nervous system, and apparently the spinothalamic fibers". Door de wijze waarop Korr dit formuleert lijkt het alsof hij hiermee ook suggereert dat een osteopathische dysfunctie van een spier, uitkomend op de anterieure voorhoorn, ook een gefaciliteerde staat in gang kan zetten van, bijvoorbeeld, een vasomotorische neuron in de laterale hoorn. De impact van een osteopathische dysfunctie in spier- of botweefsel zou hiermee zijn grenzen van het musculoskeletaal systeem kunnen overbruggen naar het viscerale systeem of zelfs een invloed kunnen hebben op fysiologische processen, zoals de energie- of hormoonhuishouding. De implicaties van deze theorie zijn dan ook verrijkend en trekt daarmee de aandacht van vele onderzoekers en osteopaten. Zo ook de aandacht van Buskirk. De visie van Buskirk (1990) vertoont een grote consensus met die van Korr. Buskirk geeft echter aan dat er over de decennia heen meer inzicht is gekomen en sommige aspecten van de theorie van Korr achterhaald zijn. Waar Korr beschrijft dat de constante afferente prikkeling op segmentaal niveau door proprioceptische receptoren wordt veroorzaakt, gelooft Buskirk dat dit komt door nociceptische prikkeling. Meer literatuur is vrijgekomen over spierspoeltjes en andere proprioceptieve receptoren. Uit onderzoeken blijkt dat ook spieren zonder deze proprioceptieve receptoren een osteopathische dysfunctie kunnen behuizen en daarmee een segmentale facilitatie creëren (Buskirk, 1990). Samen met de vondst van vrije zenuwuiteinden, welke in vrijwel elk soort bindweefsel voorkomen, laat Buskirk geloven dat nociceptie de sleutel is tot de segmentale facilitatie. Vrije zenuwuiteinden zouden ook meer betrokken zijn bij het sympathisch zenuwstelsel dan proprioceptische receptoren en daarmee een verklaring bieden voor zo ook de viscerosomatische reflex. Door de veranderde interpretatie van het spierspoeltje en de prominente rol van het sympathische zenuwstelsel is het onwaarschijnlijk dat de spierspoel de primaire rol speelt in de theorie van Korr. Buskirk blijft dankbaar tegenover Korr en beschrijft dat diens visie onmisbaar is voor het huidige begrijpen van de segmentale verschijnselen. Middels

nieuwe inzichten over de decennia vult en past hij de theorie aan naar zijn eigen visie. Zo vult hij de principes van Korr aan met het vrijkomen van substance P en somatostatine bij een afferent nociceptisch signaal (Buskirk, 1990). Deze zouden niet alleen rond de bron van noxus worden vrijgegeven, maar over het gehele innervatiegebied van die motorneuron. Hiermee suggereert hij dat een ontsteking, bijvoorbeeld in de schouder, ook ontstekingsverschijnselen kan opwekken in een visceraal orgaan in hetzelfde segment. Naast de theorie van Korr geeft Buskirk nog twee fenomenen welke een osteopathische dysfunctie in de hand kunnen werken. De eerste is een vermindering van vasculaire circulatie en 'extracellular fluid distribution'. Het tweede fenomeen zijn de functionele bindweefsel aanpassingen, welke met de tijd overgaan op een structurele aanpassing. Deze drie fenomenen spelen volgens Buskirk (1990) een negatief versterkende rol in een osteopathische dysfunctie. Een nociceptische prikkel zorgt voor een beschermende respons, waarbij het spierweefsel verkort. De segmentale facilitatie kan de spier in een verhoogde staat van alertheid houden en zo de verkorting in stand houden. Over de loop van de tijd zorgt de toegenomen fibrocytaire activiteit voor een nieuwe aanleg van vezels, met aangepaste lengte en richting en creëert zo minder stressbestendig weefsel, wat eerder tot nociceptie zal leiden. Door de toegenomen vasodilatatie en verhoogde spanning in het gebied zal de toegenomen extracellulaire vloeistof langer aanwezig blijven en de wash-out van ontstekings- en afvalstoffen beslechten. Om niet verder op deze negatieve loop in te spelen adviseert Buskirk bij behandeling van een osteopathische dysfunctie een indirecte techniek. Op deze wijze zet hij geen rek op weefsel dat al op rek staat en voorkomt hiermee verdere nociceptie. Door de spanning op het weefsel weg te nemen zou de circulatie toenemen door het inhiberen van chronische synaptische stimulatie. Buskirk adviseert om het effect van de behandeling te complementeren middels gebruik van NSAIDs, welke verdere ontsteking en nociceptie tegengaan en de prostaglandineproductie blokkeren (Buskirk, 1990). Alhoewel deze gedachtegang van Buskirk met zijn aandacht op de segmentale facilitatie niet onjuist is, lijkt het gebruik van NSAIDs niet de meest voor de hand liggende optie. Het inhiberen van de prostaglandineproductie brengt meer met zich mee dan de positieve werking die Buskirk (1990) in zijn publicatie benoemt. De inhibitie van NSAIDs zorgt voor complicaties in het tractus digestivus en de cardiovasculair systeem, met een scala van bijwerkingen als gevolg (Sostres, Cargallo, Arroyo & Lanas, 2010). Daarbij zijn de prostaglandines belangrijke signaalstoffen voor weefselherstel en adaptatie (Yavropoulou & Yovos, 2016) en zou het inhiberen van de prostaglandines het zelfherstellend vermogen van het lichaam in de weg kunnen zitten. Met deze bijwerkingen van NSAIDs in het achterhoofd is het adviseren van NSAIDs bij een osteopathische dysfunctie niet de voor de hand liggende keuze. De theorie van Korr en Buskirk wordt later nog aangevuld door Howell en Willard (2005). Net zoals Buskirk zien zij de nociceptoren als de sleutel tot de segmentale facilitatie, maar kennen de afferente nociceptoren ook een motorische functie toe, welke de osteopathische dysfunctie in de hand speelt. Ze spreken over 'primary afferent nociceptors' welke op basis van een noxische stimulus een actiepotentiaal creëert, welke niet alleen afferent naar het ruggenmerg gaat, maar ook naar de perifere uiteinden van de doelorganen. Daar geven zij, middels GABA, onder andere substance P af. De publicaties van Denslow en Clough (1941), Korr (1947), Buskirk (1990) en Howell en Willard (2005) gaan over een osteopathische dysfunctie en in geen van de publicaties wordt gesproken over een intraossaire dysfunctie. Echter definieert Fryer (2016) een somatische dysfunctie als

“impaired or altered function of related components of the somatic (body framework) system: skeletal, arthrodiar, and myofascial structures, and related vascular, lymphatic, and neural elements”. Volgens deze definitie zou het concept van een intraossaire dysfunctie onder een somatische dysfunctie vallen. In zijn artikel benoemt Fryer (2006) de toepassing van de segmentale facilitatie volgens Buskirk (1990) op de somatische dysfunctie, maar geeft aan dat dit concept zich na 1990 steeds meer is gaan scharen onder de term sensitiviteit (Woolf, 2004; Fryer, 2006; Harte, Harris & Clauw, 2018).

---

#### 4.5.7 RITTWEGER

---

De verklaringsmodellen die tot nu toe aan bod zijn gekomen zijn afkomstig van osteopaten of andere beoefenaars van de complementaire geneeskunde. Dit is onontkomelijk, aangezien het principe van een intraossaire dysfunctie zijn oorsprong heeft in de osteopathie. Het osteopathisch denkkader is divers en staat bekend als een die relaties durft te leggen tussen verschillende systemen. Al wordt getracht om kritisch te kijken naar de gegeven verklaringsmodellen, blijft dit de kritische blik van iemand met een osteopathisch denkkader. Om met een verse kritische blik naar de denkwijze van de osteopaat te kijken is er een interview afgenomen met Prof. Dr. Rittweger, hoofd van de afdeling spier- en botmetabolisme van het Institute of Aerospace Medicine (Rittweger J. Persoonlijke communicatie, 11 november 2018). Hier voert hij onderzoeken uit naar het effect van verschillende stimuli op bot- en spierweefsel. Enkele verklaringsmodellen zijn hem voorgelegd, zoals biotensegrity, mechanotransductie en de usage windows volgens Frost (1994). De onderzoeks- en behandeltechniek volgens Chauffour is gebruikt als voorbeeld voor een osteopathische interventie. Wat Rittweger tegen de borst stuit is het verklaringsmodel dat de osteopaat middels zijn manuele technieken invloed uitoefent op de kwaliteit en richting van de trabeculae, ook wel de krachtlijnen. Om in een window te komen om modellering of remodelling aan te zetten is een kracht nodig van twee tot zes kilogram per vierkante millimeter. Omgerekend naar een vierkante centimeter is dit 200 tot 600 kilogram per vierkante centimeter. Het lichaam is de hele dag in beweging. Het botweefsel wordt belast door lopen, springen en andere vormen van lichamelijke beweging. Rittweger geeft aan dat alleen lopen al acht maal het lichaamsgewicht aan belasting geeft op de tibia en dat een gemiddeld persoon 10.000 stappen per dag nemen. Springen geeft 14 maal het lichaamsgewicht aan belasting op de tibia. Hierdoor vraagt Rittweger zich ten eerste af hoe een osteopathische behandeling, al zou die 20 minuten duren, enig verschil zou maken in dit belastingspatroon. In zijn boek schrijft Currey (2002): “Shocking how rapidly measurable response take place after loading”. Als reactie daarop zegt Rittweger dat er inderdaad na belasting snel een activiteit zichtbaar is in cellen die de kwaliteit van het bot waarborgen. In onderzoek zijn er metabolische markers zichtbaar die duiden op verandering van weefsel. Maar voor verandering van het botweefsel zijn maanden of zelfs jaren nodig van deze aanhoudende activiteit. Als voorbeeld schetst Rittweger het beeld van een enorme tank water, die aangesloten is op een huis, welke water verzorgt voor het doorspoelen van de toilet. Elk uur wordt 0,01% verbruikt en dit wordt elders weer aangevuld. Alhoewel er verandering plaatsvindt, zijn er maanden tot jaren nodig om de gehele tank te verversen. Wat Rittweger wel een aannemelijke verklaring vindt, is de invloed die de osteopaat kan uitoefenen op het periost. Het periost is rijk aan vrije zenuwuiteinden en daardoor zeer

vatbaar voor pijnprikkeling. Als de osteopaat de perceptie van pijn zou kunnen doen afnemen en het beweeggedrag van de patiënt bevordert, heeft dit op lange termijn een positief effect op de kwaliteit van het bot. Later in het interview geeft Rittweger een andere mogelijkheid, middels het periost. Deze is rijk aan proteoglycanen. Proteoglycanen kunnen water aantrekken en afstoten en zo de osmotische waarde veranderen. Deze moleculen zijn dezelfde als die in de synoviale gewrichten en geven een mate van elasticiteit. De mate van vulling aan het botoppervlak en het subcutane weefsel kan verschillen. Dit is sterk gerelateerd aan het fasciale systeem. Op deze wijze kan de osteopaat de kwaliteit van het periost en het gerelateerde fasciale systeem beïnvloeden. Rittweger heeft hier eerder al over nagedacht en had ook een onderzoekopstelling in gedachte. Een double blind, waarbij een osteopaat de interventie uitvoert en een assessor middels sonografie de hydratatiewaarde opneemt voor en na de behandeling. Samengevat gelooft Rittweger niet dat de osteopaat het botweefsel zelf kan beïnvloeden, maar wel het omliggende bindweefsel, inclusief periost. Op deze wijze kan de osteopaat pijn en ongemak tijdens het bewegen verminderen en het beweeggedrag van de patiënt bevorderen. Met de logica die Rittweger in het interview presenteert kan de hypothese worden uitgesloten dat de osteopaat invloed uitoefent op een intraossaire dysfunctie door met manuele technieken fases van modelling en remodelling te stimuleren. Dit is een hypothese die is aangedragen in het interview met het oog op de krachtlijnen met diens trabeculae in relatie tot de usage windows van Frost (1994). Andere verklaringmodellen, zoals de invloed van fluid flow, die verder in dit hoofdstuk nog zullen volgen zijn niet voorgelegd aan Rittweger. Echter zonder dit aan Rittweger voor te dragen heeft hij reeds de potentiële rol benoemt van proteoglycanen, welke water aantrekken en afstoten.

---

#### 4.5.8 BUEKENS

---

In zijn interview verklaart Buekens de behandeling van een intraossaire dysfunctie aan de hand van de osteocytaire actie (Buekens, J. Persoonlijke communicatie, 10 januari 2019). Osteocyten functioneren als mechanosensoren en zijn gevoelig voor druk en fluctuatie van de fluida in en rond het bot. Het botweefsel is voorzien van verschillende kanaalstructuren zoals de Volkmann kanalen en de kanalen van Haver, maar ook kleine varianten. Zo toont een recente studie aan dat er minuscule kanalen zijn, vermoedelijk gemaakt door osteoclastische activiteit, welke worden aangeduid met 'trans-cortical vessels' (Grüneboom et al. 2019). Deze grenzen aan de eerder genoemde grotere en kleinere kanalen, welke ontstaan na osteocytaire activiteit. De fluida die hier door heen stroomt functioneert volgens Buekens als een informatiesysteem, waarvan de osteocyten de mechanosensoren zijn. De verandering in fluctuatie brengt een stress generated potential met zich mee welke de osteocyten activeren en middels de principes van biotensegrity en mechanotransductie specifieke eiwit synthese stimuleren. Door intermediaire stoffen, zoals prostaglandines, wordt er een reactie opgeroepen bij osteoblasten en osteoclasten. Buekens geeft aan hiervoor geen 600 kilogram druk per vierkante centimeter te hoeven geven en suggereert ook niet dat hij hiermee invloed uitoefent op modelling of remodelling, volgens de usage windows van Frost (1994). Een directe verandering in densiteit kent Buekens toe aan een verandering in een elektrisch potentiaal. De reactie die dit potentiaal oproept uit zich in een verandering in densiteit, flexibiliteit en malleabiliteit. Daarnaast denkt Buekens dat er een



verschuiving plaatsvindt van vloeistof van de intracellulaire matrix naar de extracellulaire matrix. Als verklaring voor het effect van een intraossaire dysfunctie op het omliggende weefsel verwijst Buekens naar de embryologie. Hierover zegt Buekens: “Mijn bot is de laatste structuur die verkalkt in het lichaam. Dat betekent dat al mijn enthesen al verbonden zijn met het embryologisch bot. De verkalking is wat gebeurt op het moment dat al mijn fasciae en spierinserties al present zijn. En daaromheen gaat het bot zich installeren. Dus als mijn bot van spanning gaat veranderen, gaat mijn omliggend weefsel ook van spanning veranderen”.

---

#### 4.5.9 VAN DER GEER

---

In zijn jaren van onderzoek naar intraossaire dysfuncties is van der Geer tot verschillende inzichten gekomen. In zijn interview deelt hij enkele van zijn bevindingen (van der Geer, L. Persoonlijke communicatie, 1 februari 2019). Het sleutelwoord voor van der Geer lijkt ‘communicatie’ te zijn. Rittweger gaf in zijn interview aan dat hij sterke twijfel had of een osteopaat het bot verder kon beïnvloeden dan het periost (Rittweger J. Persoonlijke communicatie, 11 november 2018). Van der Geer geeft dan ook aan niet alleen te denken in de biomechanica, maar in de communicatie. Hiermee doelt hij op het inschakelen van verschillende systemen in het lichaam, welke kunnen dienen als communicatie systeem. Vloeistof lijkt voor van der Geer een belangrijke rol te spelen als het gaat over deze communicatiesystemen. Fluida lijken een sleutelrol te spelen binnen principes zoals stress generated potential, de osteocyten als communicatie netwerk, mechanotransductie en het piëzo-elektrisch effect. Weefsel wat je onder druk zet zal een verandering van fluctuatie gaan vertonen, wat een cascade van reacties in gang zet in het betreffende weefsel en het weefsel dat verder weg gelegen is. Als voorbeeld zegt van der Geer: “Als ik je vraag om in die hoek te gaan staan, dan heb ik toch 85kg verplaatst”. Het doel wat van der Geer voor ogen houdt is om de communicatiewegen te openen en het lichaam bewust te maken van de situatie. Van der Geer spreekt over een discongruentie tussen een intraossaire dysfunctie in het weefsel en de waarneming hiervan in de hersenen. Een verworven intraossaire dysfunctie, door bijvoorbeeld een trauma, kan in het acute stadium voor pijn zorgen, welke in een later stadium zal afnemen of verdwijnen door adaptatie. Dit betekent echter niet dat de dysfunctie hiermee ook verdwijnt. De gevolgen van de dysfunctie hebben volgens van der Geer alsnog hun werking op het lichaam en kunnen zich verder manifesteren, terwijl de patiënt zich niet bewust is van deze dysfunctie. Door de communicatiewegen te openen en de patiënt bewust te maken van de dysfunctie spreekt van der Geer het zelfherstellend vermogen aan van het lichaam. Van der Geer ziet de osteopathische interventie als een ondersteuning voor het lichaam, door de communicatie in het lichaam aan te zetten, waarna het lichaam de rest doet. Over wat de osteopaat doet met zijn technieken heeft van der Geer enkele theorieën. Het uitgangspunt hiervoor zijn de osteonen. Van der Geer benadert osteonen als boteenheden die ten opzichte van elkaar een mate van mobiliteit of speling hebben, waarbij de drifting osteons het toppunt zijn. De drifting osteon kenmerkt zich door een constante absorptie aan de ene zijde en een constante formatie aan de andere zijde, waardoor het lijkt alsof deze zich over de tijd heen door het bot lijkt te bewegen (Robling & Stout, 1999; van der Geer, L. Persoonlijke communicatie, 1 februari 2019). Deze osteonen zijn van elkaar gescheiden door een cementlijn (Robling & Stout, 1999; Currey, 2002),

waarvan van der Geer aangeeft dat deze niet gecalcificeerd zijn en er daardoor een mate van speling of beweeglijkheid mogelijk is tussen de osteonen. Deze mate van speling en beweeglijkheid geeft van der Geer figuurlijk weer als een flossen van de osteonen. Dit flossen kan worden beperkt door de aanwezigheid van 'secondary bonds', ook wel waterstofbruggen. Middels de recoil van de techniek probeert van der Geer de waterstofbruggen te ontkoppelen en de osteonen een toename van glijden te geven. Daarbij is volgens van der Geer de diameter van de osteon van belang, waarbij een smalle diameter voordeliger is voor de mobiliteit. In zijn usage windows geeft Frost (1994) aan dat er in de 'acute disuse window' en 'pathological window' een toename is van BMU productie. Deze windows worden geclassificeerd als een negatieve invloed op de kwaliteit van botweefsel. In de gevonden literatuur wordt niet specifiek benoemd dat een toegenomen BMU activiteit ook leidt tot een grotere diameter van de osteonen. Verder onderzoek naar deze vraagstelling zou in relatie tot de theorie van van der Geer van interesse zijn. Een andere theorie die de belangstelling van van der Geer trekt, is die van 'sacrificial bonds and hidden length mechanism'. Deze theorie suggereert dat secundaire bonds een buffersysteem vormen. Deze secundaire bonds worden verschillend beschreven, van een elektrostatische verbinding (Hartmann & Fratzl, 2009) tot ionische verbinding, van der Waals verbinding of waterstofbinding (Fantner et al. 2006). Strain op botweefsel zou dan eerst zijn momentum verliezen door het verbreken van deze secundaire verbindingen, voordat de primaire, covalente, verbinding wordt verbroken en weefselschade optreedt (Thompson et al. 2002; Fantner et al. 2005; Fantner et al. 2006; Hartmann & Fratzl, 2009). Hoe de osteopaat een rol speelt in deze 'sacrificial bonds' en hoe dit zich verhoudt tot een intraossaire dysfunctie is nog niet bekend, maar desalniettemin een interessant gebied om onderzoek naar te doen.

---

#### 4.5.10 NOELMANS

---

Noelmans is een osteopaat en medeoprichter van Sutherland Cranial Academy in België. Noelmans (persoonlijke communicatie, 27 maart 2019) stelt dat iedere techniek, onafhankelijk van de osteopathische benadervorm, een globale invloed uitoefent. In het bijzonder door de fluïdische en mechano-biologische implicaties. De termen tensegrity, hiërarchische organisatie en mechanotransductie zijn de sleutelwoorden voor Noelmans. De uitwerking van een techniek wordt overgebracht via de architecturale en functionele hiërarchie van macro, naar micro, naar nano. Mechanotransductie grijpt volgens Noelmans (persoonlijke communicatie, 27 maart 2019) aan op macroniveau, maar de mechanotransductie werkt door op microniveau en nanoniveau. Middels mechanotransductie vinden er chemische veranderingen plaats op cellulair niveau. Noelmans vermoedt dat de mechanotransductie doorgaat tot op nanoniveau, tot in de celkern en zo verandering brengt in de morfologie. De recentere fundamentele inzichten in het tensegrity concept in de mechanotransductie hebben voor Noelmans (persoonlijke communicatie, 27 maart 2019) opheldering gebracht en vindt deze fenomenen voor de osteopaat actueler dan ooit. De verklaring van de uitwerking van een intraossaire techniek zoekt Noelmans in de oude wet van Wolff. De mechano regulerende processen na de prikkel veroorzaken volgens Noelmans drukveranderingen in de interstitiële vloeistof en hebben effect op de osteocyt, met een morfologische verandering als resultaat. Een verandering van dichtheid en spanning in het weefsel vindt volgens Noelmans al plaats tijdens de

behandeling. Deze verandering is voor Noelmans nog maar het begin van het zelfherstellend vermogen, wat door de behandeling in gang is gezet en doorgaat als de patiënt de praktijk verlaat. De toepassing van tensegrity en mechanotransductie op de kwaliteit van bot is er een die steeds vaker gemaakt wordt (Cowin, 2002; Rubin & Rubin, 2014; Yavropoulou, 2016), maar waarvan nog wel onduidelijk is wat er exact gebeurt op weefselniveau. De interpretatie van Noelmans, over de wet van Wolff, is een brede interpretatie. Frost (1994) zoekt de toepassing van de wet van Wolff in de modellering en remodeling, wat niet het snelle effect kan geven wat Noelmans beschrijft (persoonlijke communicatie, 27 maart 2019).

---

#### 4.5.11 EVIDENTIE MECHANISCHE DRUK OP FLUID FLOW

---

Buskirk geeft verstoorde fluid flow als een van de drie in stand houdende factoren voor een osteopathische dysfunctie (Buskirk, 1990). Chauffour wijst zijn 'dispersion of forces' toe aan onder andere de fluids in botweefsel (Chauffour, 2012). Van der Geer kent verschillende verklaringen toe aan vloeistoffen, zoals de waterstofbruggen en de rol van fluids in de communicatie (van der Geer, L. Persoonlijke communicatie, 1 februari 2019). Bij de vraag naar een mogelijke verklaring voor het effect van een intraossaire techniek op botweefsel kent Rittweger een rol in deze werking toe aan het opnemen en afstoten van water door proteoglycanen (Rittweger J. Persoonlijke communicatie, 11 november 2018). In de theorie van Buekens, waar stress generated potentials een osteocyttaire actie veroorzaken (Buekens, J. Persoonlijke communicatie, 10 januari 2019) is water onmisbaar. De stelling van Capobianco (2003), waarin hij aangeeft dat het botweefsel voor 25% uit water bestaat, accentueert het belang van de vloeistof. Noelmans (persoonlijke communicatie, 27 maart 2019) spreekt over fluidische implicaties na een intraossaire techniek. De fluid flow lijkt een consistentie in verschillende verklaringsmodellen. In de betreffende publicaties is echter geen evidentie gegeven voor het effect van een manuele techniek op de fluctuatie in en rondom botweefsel. De interesse naar evidentie over deze consistente schakel is daardoor gewekt. Tijdens het literatuuronderzoek zijn twee artikelen opgenomen in deze thesis (Hong, Sang, Khang & Seung Mun, 2008; Wu et al. 2016) over intraossaire druk en de fluctuatie. In de literatuurlijst van deze artikelen zijn andere onderzoeken gevonden betreffende deze correlatie (Dillaman, Roer & Gay, 1991; Weinbaum, Cowin & Zeng, 1994; Nagatomi, Arulanandam, Metzger, Meunier & Bizios, 2002). Ondanks de verschillen in de terminologie is er in alle bovengenoemde onderzoeken een consensus over de invloed van intraossaire druk op de fluctuatie in en rondom botweefsel. Alle onderzoeken geven een significante toename in fluctuatie bij het toepassen van intraossaire druk. In het onderzoek van Hong et al. (2008) is dit getest door het uitvoeren van druk op 16 monsters van cilindrisch compact botweefsel. De monsters waren van de femur diaphyse van runderen. De druk is uitgeoefend middels een speciaal hiervoor ontworpen mechanisch druksysteem met daaronder een 'pressure transducer', om de druk door de ossaire structuur te meten. In het onderzoek spreken zij over een stress generated potential en meten deze door middel van meerdere geplaatste elektroden op verschillende locaties in de monsters. De stress generated potential is uitgedrukt in microvolt (mV) en de intraossaire druk in pascal (Pa). Een andere variabele die zij hebben betrokken in het onderzoek is de strainrate, welke is uitgedrukt in de frequentie van drukimpulsen per seconden. De hoogste stress generated potential is gevonden bij een strainrate van 0,5 per seconde. De druk is opgevoerd tot een

strain van 0,5%. Mogelijk is er gekozen voor een percentage strain, doordat dezelfde druk op de verschillende omvang van monsters een ander effect zou hebben gehad. De reden voor het kiezen van een strain percentage is echter niet toegelicht. In de resultaten wordt benoemd dat de gemeten intraossaire druk varieert tussen 8 en 22 pascal, wat neerkomt op 8 tot 22 newton per vierkante meter. De conclusie luidt: "The correlation between the intraosseous pressure and SGP behavior was statistically significant ( $r = 0.98$ ,  $p = 0.02$ ). Therefore, the intraosseous pressure gradient produces the SGP" (Hong et al. 2008). Het doel van Wu et al. (2016) was om de fluid flow en fluid shear stress in beeld te brengen tijdens mechanische belasting van botweefsel. Dit doen zij met een theoretisch model. In dit model gebruiken zij de 'poroelastic theory', welke gebaseerd is op de 'porous media theory' van Biot. Uit de resultaten maken zij op dat de strain rate de sleutel is tot de canaliculaire fluid flow (Wu et al. 2016). Het onderzoek van Nagatomi et al. (2002) is uitgevoerd op beenmergcellen, onttrokken uit muizen en geprepareerd op corticaal bot van runderen. Het onderzoek gaat niet specifiek over intraossaire druk op fluid flow, maar over cyclische druk op osteoclastische activiteit (Nagatomi et al. 2002). De druk is uitgevoerd middels een 'cyclic pressure system', welke gebruikt maakt van een drukruimte met gasdruk. Het gaat hier om een cyclische druk van 10 tot 40 Kpa gedurende één uur per dag voor één tot zeven dagen. De osteoclastische activiteit is gemeten aan de hand van kleurvloeistof. Middels licht microscopie, waarbij de kleurvloeistof in de lacunae oplicht, werd de grootte en vorm van de lacunae gemeten. De resultaten wezen uit dat het blootstellen van botweefsel aan cyclische druk de osteoclastische activiteit vermindert en zo ook de mRNA uitdrukking. Alhoewel de onderzoekers niet specifiek de fluid flow meenemen in hun hypothese en conclusie, schrijven ze in de discussie wel dat de intraossaire druk overgaat in een 'fluid pressure'. De resultaten van dit onderzoek tonen een significante correlatie,  $p < 0,05$ , tussen de mechanische druk en de uitdrukking van mRNA in de osteoclasten. De mRNA uitdrukking correleren de onderzoekers aan de activiteit van de osteoclasten. Waardoor deze expressie zou afnemen wordt niet genoemd. Of de mRNA expressie bij intraossaire druk ook afneemt bij andere effectorcellen dan de osteoclast zou met het oog op de implicatie van eiwitsynthese en mechanotransductie interessant zijn. Het onderzoek van Dillaman, Roer en Gay (1991) is een tweedelig onderzoek. In het eerste deel wordt het patroon en de frequentie van de fluid flow in kaart gebracht met een computermodel. Het doel hiervan is om vast te stellen hoe de fluid flow de osteocyten activiteit beïnvloedt. Dit doen zij met het model 'Fluent'. Met dit programma hebben de onderzoekers de mogelijkheid om met 10.000 virtuele cellen formaties op te stellen van botweefsel. De onderzoekers hebben hiermee verschillende modellen opgezet. Door middel van eerder onderzoek en berekeningen geven ze waardes voor de permeabiliteit van de kanalen en de viscositeit van de fluids. In het tweede deel zoeken zij bevestiging in de praktijk middels het inspuiten van markers bij 42 ratten. Ze verwijderden hierna de achterpoot van de rat en dompelen deze onder in vloeibare stikstof. Ze ontledden de achterpoot en maakten de markers zichtbaar met diaminobenzidine. Als conclusie stellen zij; "The body of evidence of a link between bone dynamics and the movement of fluids through bone is too large to be ignored" (Dillaman, Roer & Gay 1991). In de inleiding geven zij de hypothese dat de fluid flow de osteocyten op drie transductie wijze beïnvloedt. De eerste is een metabolische transductie, waarbij de  $pO_2$ ,  $pCO_2$ , pH en lactaat concentratie leidend zijn. De tweede wijze is een elektrische transductie, waar de stress generated potential leidend is. De laatste wijze is een

mechanische transductie waarbij shear stress de productie van cAMP stimuleert, welke van invloed is op het hormoonhuishouden, van zo ook PTH. Het onderzoek van Weinbaum, Cowin en Zeng (1994) is er een met een theoretische insteek. Middels de 'porous media theory' van Biot wilt Weinbaum meer inzicht verkrijgen omtrent de excitatie van osteocyten door mechanische geïnduceerde fluid flow bij shear stress. In de inleiding worden drie soorten porositeiten geïntroduceerd in botweefsel. De grootste zijn die van de kanalen van Haver en Volkmann. Hierna komen, qua grootte, de lacunaire-caniculaire porositeiten met daarna de ruimtes tussen het collageen van de hydroxyapatite kristallen. Het model van dit onderzoek richt zich op de porositeit van de lacunaire-caniculaire porositeit. Volgens Weinbaum, Cowin en Zeng zijn deze de verantwoordelijke voor de ontstane potentialen tijdens een fluid flow en zijn de ruimtes rond de hydroxyapatite kristallen niet permeabel voor de vloeistoffen. De onderzoekers verdelen de lacunaire-caniculaire porositeit voor hun onderzoek in volgens drie schalen. De kleinste schaal is die van de glycosaminoglycanen en de proteoglycanen. De tweede schaal is die van de caniculaire wand tot aan de celwand van de osteocyt. De grootste schaal is die van de lacunae zelf. In elke van deze schalen stellen de onderzoekers vergelijkingen op om het patroon van de flow te objectiveren. Met de resultaten en referenties naar andere onderzoeken maken de onderzoekers enkele interessante uitspraken. Zo zijn de osteocyten niet gevoelig voor de fluid flow, maar voor de shear stress die hierbij ontstaat. De shear stress veroorzaakt een vrijkomen van intracellulaire calcium ionen en opent ionen kanalen. Hierdoor ontstaat een intracellulair potentiaal. Dit wordt volgens de onderzoekers bevestigd door een tweede uitspraak. De resultaten zouden bevestigen dat de glycocalyx, zoals bekend is bij vasculair endotheel, ook aanwezig is bij osteocyten. Deze glycocalyx zou de caniculaire ruimtes vullen met onder andere proteoglycanen aggregaten en met hun receptoren de fluid flow waarnemen, met een vrijkomen van intracellulaire calcium ionen als gevolg. Dit tezamen zorgt, volgens de onderzoekers, dat het een veilige uitspraak is dat een stress generated potential ontstaat in het caniculaire systeem (Weinbaum, Cowin & Zeng, 1994).

---

#### 4.5.12 DE BAKKER

---

De Bakker is een osteopaat, die tevens les geeft in zijn eigen behandelmethode. Zijn behandelmethode is geïnspireerd door schrijfwerk van Patrick van den Heede en de embryologische werken van Blechschmidt. De Bakker (persoonlijke communicatie, 21 maart 2019) geeft dan ook aan dat hij het werk van Sadler en Moore uit de tijd vindt. De ontwikkelingen van de laatste 20 jaar, zoals wat de functie is van de chorio-allantois, worden door Salder en Moore nog volledig ontkent. Zo blijkt uit afbeeldingen van Drews (1995) dat er ook mesodermaal weefsel afkomstig is uit het endoderm. Alhoewel de extremiteiten ontstaan uit het somatopleura, geeft de Bakker aan dat deze ontstaan rondom het beenmerg. Het beenmerg is een restant van de bloedeilandjes, afkomstig uit het visceropleura. Deze twee constatering zijn voor de Bakker reden genoeg om de link te leggen tussen enerzijds de mobiliteit in gewrichten van de extremiteiten en anderzijds de viscera. In zijn visie zijn de extremiteiten in de eerste plaats ophangpunten van het oorspronkelijke intra-embryonaal coeloom en pas in de tweede plaats een functie van bewegen en voortbewegen. De Bakker stelt dat de tweede functie altijd wordt opgeofferd als de eerste functie, steunname voor organen, blokkades veroorzaakt. Hij beschrijft dan ook

uit zijn eigen ervaring dat hij bij intraossaire dysfuncties het visceraal aspect mee neemt. De Bakker kijkt naar intraossaire dysfuncties, als er breuken aanwezig zijn in de voorgeschiedenis. Bij breuken in en rond lange pijpbeenderen ziet de Bakker grote bewegingsbeperkingen van de gewrichten rondom de fractuur. Volgens de Bakker (persoonlijke communicatie, 21 maart 2019) zijn deze allemaal van viscerale oorsprong. Hierdoor ontstaan aangepaste torsie patronen in de botten en zijn deze vatbaar voor fracturen tijdens belasting. Voor een optimale genezing van de breuk raadt Bakker dan ook aan om eerst de bewegingsbeperkingen op te lossen. Deze kunnen volgens hem ver gezocht zijn, door de eerder uitgelegde relatie met het viscerale systeem. Als voorbeeld geeft hij een breuk van de ulna, welke in de mobiliteit afhankelijk is van het duodenum en de nieren (Bakker, persoonlijke communicatie, 21 maart 2019). Problematiek in de onderbuik zou daardoor resulteren in verkeerde informatie in de gewrichten, waardoor een verandering van torsie in de ulna en radius ontstaat. De link die de Bakker legt vanuit de embryonale ontwikkeling tussen het viscera en extremiteiten biedt een verklaringsmodel voor het integreren van de viscera in de behandeling van het bewegingsapparaat. Het is echter de vraag in hoeverre de link vanuit een embryonale ontwikkeling nog meespeelt bij een volgroeid persoon.

## 5 SLOTBESCHOUWING

---

Uit de gevonden verklaringenmodellen en de afgenomen interviews komt de excitatie van osteocyten door intraossaire druk als de meest geaccepteerde verklaring voor de intraossaire dysfunctie en de behandeling van een intraossaire dysfunctie. De invulling en gevolgen van deze ontstane druk wordt echter van verschillende kanten benaderd. In de verschillende publicaties en interviews wordt het grijze gedeelte tussen de ontstane druk en de verandering van kwaliteit van botweefsel anders beschreven. Het is dan ook onwaarschijnlijk dat dit grijze gebied toe te kennen is aan één van deze beschrijvingen. Hetzelfde proces kan op verschillende zienswijzen worden beschreven en de intraossaire druk kan een cascade van reacties langs elkaar in gang zetten, welke de kwaliteit van bot verbeteren. Turner en Pavalko (1998), Chen en Ingber (1998), Chicurel, Chen en Ingber (1998), Ingber (2006) en Rubin en Rubin (2014) zeggen dat mechanische belasting de sleutel is tot het activeren van de osteocyten, middels de principes van biotensegrity en mechanotransductie. Cowin (2002), Chauffour (2012), Van der Geer (persoonlijke communicatie, 1 februari 2019) en Buekens (persoonlijke communicatie 10 januari 2019) voegen hier nog de rol van fluid flow aan toe. Dillaman, Roer en Gay (1991), Weinbaum, Cowin en Zeng (1994) en Wu et al. (2016) specificeren dit verder door te zeggen dat de fluid flow niet de prikkel is, maar de hierdoor veroorzaakte shear stress. Daarbij kent Weinbaum, Cowin en Zeng (1994) de glycocalyx van de osteocyt een belangrijke rol toe binnen het waarnemen van deze shear stress. Ondanks het verschil in nuance lijken de bovengenoemde auteurs hun verklaringen in dezelfde lijn te hebben liggen. Met deze consensus is het verhaal echter nog niet rond. Het is nog onduidelijk wat er gebeurt na de excitatie van de osteocyt dat leidt tot verbetering van de klachten. Magoun (1999), Jecmen (2002), Heller (2005), Buekens (persoonlijke communicatie, 10 januari 2019), van der Geer (persoonlijke communicatie, 1 februari 2019) en Noelmans (persoonlijke communicatie, 27 maart 2019) merken allen een directe verbetering of 'release' van het weefsel, met daarbij een verlichting van klachten bij de patiënt. Samen met de stelling van Rittweger (persoonlijke communicatie, 22 november 2018) bevestigt dit nogmaals dat de verklaring van de behandeling niet te vinden zal zijn binnen het klassieke botweefsel herstel van modellering en remodeling. Een verbetering van weefsel kwaliteit en afname van klachten zouden middels modellering en remodeling maanden duren. Rittweger (persoonlijke communicatie, 22 november 2018) suggereert dat de proteoglycanen mogelijk een rol kunnen spelen op korte termijn, waar zij water opnemen en afstoten. Buekens (persoonlijke communicatie 10 januari 2019) geeft met de waterstroom van intracellulair naar extracellulair een soortgelijke verklaring. Van der Geer (persoonlijke communicatie, 1 februari 2019) wil zich niet scharen achter één verklaring, maar stelt dat het multifactorieel is, waarin het openen van de communicatiekanalen de uiteindelijke uitkomst moet zijn. Ook de Bakker (persoonlijke communicatie, 21 maart 2019) schrijft over verkeerde informatieoverdracht. Een intraossaire dysfunctie na impact van een trauma zal enkele dagen pijn geven, maar de pijn zal over de dagen geleidelijk verdwijnen door adaptatie van het lichaam (van der Geer, persoonlijke communicatie, 1 februari 2019). De dysfunctie zelf is echter nog aanwezig en zal zijn signalen blijven doorgeven, al worden deze niet waargenomen als pijn (van der Geer, persoonlijke communicatie, 1 februari 2019). Deze stroom van signalen kan op zijn beurt zorgen voor een segmentale facilitatie, met de daarbij horende reacties op somatomotorisch

en visceromotorisch gebied (Korr, 1947; Buskirk, 1990). Dit kan leiden tot verandering van spiertonus, vasomotorische veranderingen en andere veranderingen van bindweefsel in het gerelateerde segment (Korr, 1947; Buskirk, 1990). De stress generated potential, de fluid flow, de osteocyttaire actie, mechanotransductie en het piëzo-elektrische effect, het zijn volgens van der Geer (persoonlijke communicatie, 1 februari 2019) allemaal communicatievormen die je aanzet om het lichaam attent te maken op de onopgeloste dysfunctie die de communicatie verstoort. Het herstellen van deze communicatie bevordert het zelfherstellend vermogen van het lichaam en zet het lichaam aan tot de rest van het werk. De osteopaat lost de dysfunctie niet op, maar het lichaam zelf doet het werk (van der Geer, persoonlijke communicatie, 1 februari 2019). Het directe merkbare effect, waar de therapeuten het over hebben, zou dan een moment zijn van gewaarwording van het lichaam, die zijn eerste stappen neemt naar herstel. Het samenvoegen van deze publicaties en interviews tot een verhaal, zoals hierboven, is speculatief en grenst aan het filosoferen.



## 6 CONCLUSIE

---

Het doel van deze thesis is om de lezer bekend te maken met het principe van een intraossaire dysfunctie. Dit is gedaan middels het verschaffen van de basiskennis over bot en vanuit dit fundament over te gaan naar de gevonden intraossaire literatuur. Het ordenen van de intraossair literatuur is geschied volgens; 'definitie', 'eerder onderzoek', 'intraossaire diagnostiek', 'intraossaire behandeling' en 'verklaringsmodellen'. Uit de resultaten komt per intraossaire onderdeel een conclusie, welke hieronder zijn geordend.

- Uit de verzamelingen van definities over een intraossaire dysfunctie blijkt dat er geen consensus is over de gebruikte term en definitie van een intraossaire dysfunctie. Vrijwel elke auteur gebruikt een andere term. Binnen de definitie komen wel twee consistenties naar voren. Chauffour en Prat (2002) hebben het over verlies van 'diffuse' en 'spread out' van de kracht na impact. Van der Geer (2014) heeft het over een afname van botstressdistributie. Brown (2008) gebruikt de term 'force transmission' en geeft aan dat deze is afgenomen tijdens een intraossaire dysfunctie. Deze auteurs lijken een gelijkenis in hun definitie te hebben dat bot met een intraossaire dysfunctie niet goed in staat is om de krachten die het op zich krijgt te distribuëren. Een tweede consistente is die van het benoemen van een 'PRM' of 'vitality' in het bot. Brown (2008), Handoll (2000) en Peters en Mathieu (2002) spreken allen over een vitality. Ook Muntinga (2013), zonder dat deze een definitie heeft gegeven, acht 'vitality' van belang bij een intraossaire dysfunctie, gezien dit een parameter was in zijn onderzoek. Druelle (Muntinga 2013), Peters en Mathieu (2002), Handoll (2000) en Sills (2003) benoemen allen het 'PRM' in hun definitie. Zowel het 'PRM' als de 'vitality' zijn een mate van uitdrukking in weefsel, welke door deze auteurs wordt gezien als gewijzigd bij een intraossaire dysfunctie. Voor het betrouwbaar waarnemen van het PRM komt uit onderzoek weinig tot geen evidentie (Sommerfeld, Kaider & Klein, 2004; Guillaud, Darbois, Monvoisin & Pinsault, 2016). De aanwezigheid en het kunnen waarnemen van een PRM blijft een omstrede begrip binnen de osteopathie. De grote verschillen in definities komen voort uit de interpretatie van verschillende auteurs. Dit duidt op een grote subjectiviteit en een ontbreken van evidentie omtrent een intraossaire dysfunctie.
- Er zijn vier kwantitatieve onderzoeken gevonden in dit literatuuronderzoek (Muntinga, 2013; Thibault, 2009; Horton, 2011; Arcand, 2011). In twee onderzoeken is een hypothese getest binnen de diagnostiek van een intraossaire dysfunctie (Muntinga, 2013; Horton, 2011). In beide werd de hypothese bevestigd. In het geval van Muntinga ging het over het gebruik van thermografie bij een intraossaire dysfunctie (Muntinga, 2013). Horton gaf aan een significant verschil te vinden tussen de controlegroep en casegroep, middels ultrasound (Horton, 2011). De methodiek is twijfelachtig en een tweetal onderzoeken is te weinig om een definitief oordeel te vellen over het bestaan en aantonen van een intraossaire dysfunctie. In drie onderzoeken is het effect gemeten van manuele technieken op intraossaire dysfuncties (Thibault, 2009; Horton 2011; Arcand, 2011). In geen van deze studies zijn significante bevindingen gevonden in de interventiegroep ten opzichte van de controlegroep. Onderzoek naar het behandelen van een dysfunctie, waarvoor nog

geen betrouwbare wijze is om de dysfunctie vast te stellen, lijkt dan ook nog prematuur. Verder onderzoek gericht op het aantonen van een intraossaire dysfunctie is geadviseerd, alvorens verder onderzoek kan worden uitgevoerd naar de behandeling van een intraossaire dysfunctie.

- Er zijn weinig publicaties gevonden over de diagnostiek bij intraossaire dysfuncties. De meest volledige publicatie is die van Chauffour (2012). Dit onderzoek is er een volgens vastgestelde krachtlijnen per bot aangevuld met specifieke buig- en tractietesten.
- Uit de gevonden literatuur komt een consensus dat er een voorkeur wordt gegeven voor het behandelen van een intraossaire dysfunctie met een directe techniek. In vier van de acht artikelen wordt gesproken over het gebruik van een recoil. De intensiteit en kracht van de techniek verschilt sterk per auteur. Technieken variëren van zeer zacht tot het overschrijden van de pijngrens en creëren van hoog ongemak. De duur van de technieken variëren van meerdere impulsen van 10 seconden tot het lang aanhouden en luisteren tot 20 minuten. Naast de voorkeur voor een directe techniek is er verder weinig consensus gevonden binnen de gevonden literatuur.
- Uit de resultaten komt een consensus over de invloed van fluid flow op de kwaliteit van botweefsel. Verder literatuuronderzoek bevestigt de correlatie tussen manuele druk en fluid flow. Er is evidentie gevonden over de fenomenen 'segmentale facilitatie' en 'sacrificial bonds and hidden length mechanism', maar deze fenomenen zijn nog niet onderzocht met het oog op intraossaire dysfuncties. Verder onderzoek is geadviseerd om de implicatie van deze fenomenen op de intraossaire dysfunctie te specificeren en bekrachtigen. Een voorwaarde hiervoor is het betrouwbaar kunnen aantonen van een intraossaire dysfunctie.

Uit de gevonden literatuur en bovenstaande conclusies kan worden afgeleid dat er geen tot weinig consensus is betreffende de definitie, het aantonen en het behandelen van een intraossaire dysfunctie. Het ontbreken van deze consensus en het gebrek aan evidentie bevestigt dat een intraossaire dysfunctie nog een subjectieve waarneming is middels palpatie. De invulling van de definitie, het vaststellen en het behandelen van een dergelijke dysfunctie is het product van de therapeut in kwestie. Aan deze therapeut wordt geadviseerd de holistische visie van de osteopathie te blijven hanteren en niet in te zoomen op een intraossaire dysfunctie. Het idee van een intraossaire dysfunctie kan waardevol zijn, als een radertje in een groter netwerk. Het functioneren van dit netwerk in zijn verschillende systemen en hiërarchie blijft het vertrekpunt van de osteopaat.

## 7 DISCUSSIE

---

Zoals bij de slotbeschouwing is aangegeven, is het samenvoegen van de publicaties tot een verklaringsmodel speculatief en slechts een theorie. Evidentie voor het bestaan en het aantonen van een intraossaire dysfunctie is te gering. Enkel twee onderzoeken naar het aantonen van een intraossaire dysfunctie zijn uitgevoerd (Horton, 2008; Muntinga, 2013). Ondanks de bekrachtiging van hun hypothesen is de methodiek twijfelachtig, mede doordat er nog weinig klinisch onderzoek is gedaan naar het bestaan en aantonen van een intraossaire dysfunctie. Beide willen een uitspraak maken over de betrouwbaarheid van het vaststellen van een intraossaire dysfunctie aan de hand van hun gekozen meetinstrument, zijnde ultrageluid en thermografie. In beide onderzoeken is de manuele palpatie en trauma anamnese de gouden standaard om af te meten hoe betrouwbaar het meetinstrument is in het vaststellen van een intraossaire dysfunctie. De crux in deze opstellingen is dat er geen evidentie is voor de manuele palpatie en de trauma anamnese als een betrouwbare wijze om een intraossaire dysfunctie vast te stellen en zo in te delen in de case- of controlegroep. Om dat te bewijzen is een werkelijke gouden standaard nodig voor het vaststellen van een intraossaire dysfunctie, die tot op heden nog niet gevonden is. Harde waardes of beeldvorming is nodig om van intraossaire dysfuncties meer te maken dan een subjectieve waarneming middels palpatie. Tot op heden is deze er niet en zal deze mogelijk ook niet komen. Tot die tijd moeten onderzoekers zoals Horton en Muntinga het doen met de methodiek zoals door hen is beschreven. Het creëren van een cluster aan onderzoeken, zoals dat van Horton (2008) en Muntinga (2013) kan een beginnende evidentie vormen voor het aantonen van een functionele afwijking binnen botweefsel of het periost. Meer onderzoeken gericht op ultrageluid en thermografie kunnen de bevindingen van Muntinga en Horton bekrachtigen of juist het aantonen en bestaan van een intraossaire dysfunctie tegenspreken. Het voorstel van Rittweger (persoonlijke communicatie, 22 november 2019) over de hydratatie waarde vormt hier een goed voorbeeld, maar dan toegespitst op het vaststellen van een intraossaire dysfunctie. Een onderzoek van Sarvazyan, Tatarinov en Sarvazyan (2005) toont aan dat 'ultrasonic assessment' een betrouwbare manier is om de hydratatie waarde van weefsel te objectiveren middels ultrageluid. Bij vastgestelde intraossaire dysfuncties middels manuele palpatie en trauma anamnese kan daardoor de hydratatie waarde worden gemeten ten opzichte van een controlegroep. Naast ultrageluid en thermografie zijn ook metingen naar de stress generated potential en 'sacrificial bonds and hidden length mechanism' parameters die kunnen worden gebruikt in het vaststellen van een intraossaire dysfunctie. Met eenzelfde opzet als zojuist beschreven bij een ultrasonic assessment, kunnen ook stress generated potentials en de sacrificial bonds van de casegroep vergeleken worden met een controlegroep. Deze opzetten worden echter bemoeilijkt door het gebrek aan mogelijkheden om de stress generated potentials en sacrificial bonds in vivo te meten.

De drie onderzoeken naar het effect van intraossaire technieken zijn niet veelbelovend. Alle geven geen significant verschil ten opzichte van de controlegroep. Een drietal onderzoeken is te weinig om een harde uitspraak te doen over het effect van intraossaire technieken. Juist het gebrek aan een betrouwbare vaststelling van een intraossaire dysfunctie kan het onderzoek naar het behandelen van een intraossaire dysfunctie vertroebelen. Een

intraossaire techniek op een bot zonder intraossaire dysfunctie in de casegroep zal dan ook weinig verschil vertonen ten opzichte van de controlegroep. Vanuit dit perspectief opnieuw een reden om eerst meer onderzoek te doen naar het daadwerkelijke bestaan van een intraossaire dysfunctie en het vaststellen van een intraossaire dysfunctie. Twee van de drie onderzoeken (Arcand, 2011; Horton 2011) hebben als interventie enkel de intraossaire technieken. Deze zijn toegepast op intraossaire dysfuncties, vastgesteld door manuele palpatie en trauma geschiedenis. De aanwezigheid van een trauma in de voorgeschiedenis laat al vermoeden dat er mogelijk meer dysfuncties meespelen in het totaalbeeld, dan alleen de intraossaire dysfunctie. Alleen de behandeling van de intraossaire dysfunctie zal dan niet toereikend zijn om verandering teweeg te brengen in het functioneren van de patiënt. Thibault (2009) heeft de interventiegroep met intraossaire dysfunctie behandeld middels een osteopathische behandeling, inclusief intraossaire technieken. Maar deze mogelijkheid is ook niet optimaal, door het ontbreken van een betrouwbare wijze voor het vaststellen van een intraossaire dysfunctie. Advies wordt gegeven om te beginnen met een meer afgekaderd en zuiver onderzoek naar de behandeling met een intraossaire techniek. Dit kan gedaan worden door het effect te meten van intraossaire technieken op gezonde proefpersonen. Het effect kan worden afgemeten aan één specifieke parameter, zoals spierspanning middels elektromyografie. Op deze wijze wordt er klein begonnen en wordt er eerst gekeken of de toepassing van een intraossaire techniek iets teweeg brengt in het functioneren.

Een discrepantie die naar voren komt binnen het behandelen van een intraossaire dysfunctie is het grote verschil in parameters in de gevonden literatuur en interviews. De verschillen in de duur van de techniek en de gegeven druk zijn groot. Daarbij komt uit onderzoek dat de fluid flow en de stress generated potential het hoogst zijn bij een hogere strain rate (Turner & Pavalko, 1998; Hong et al. 2008; Wu et al. 2016). Een hogere frequentie van het toepassen van intraossaire druk zou hierdoor een beter effect hebben op de fluid flow en de stress generated potential. Als er echter gekeken wordt naar de publicaties is er geen sprake van een frequentie, maar een aanhouden van een druk tussen de 10 seconden en 20 minuten, waarbij de therapeut de parameters richting de restrictie continue bijstelt. Het inzetten van de techniek op deze wijze om de fluid flow en stress generated potential te stimuleren staat niet met de resultaten uit de onderzoeken naar intraossaire druk op de fluid flow. Advies aan de hand van dit onderzoek zou dan ook zijn om in verder onderzoek een frequentie parameter toe te voegen.

Op de vier kwantitatieve onderzoeken en het kwalitatieve onderzoek van Brown (2008) na, hebben alle publicaties in dit onderzoek de evidentie van een expert opinion. In artikelen zoals dat van Burns (1931), Jecmen (2002) en Capobianco (2003) worden interessante theorieën neergezet, maar worden geen tot weinig referenties gebruikt. De uitspraken van Capobianco (2003) en Burns (1931) over de invloed op het beenmerg en de hematopoietische functie zijn gewaagd en de consequenties zouden verrijkend zijn, maar de evidentie buiten de expert opinion ontbreekt. Het is dit 'outside the box' denken dat de osteopathie kenmerkt, maar tegelijkertijd ook een valkuil vormt voor de grenzeloosheid van wat de osteopaat denkt te kunnen behandelen. De osteopaat is vrij om te behandelen wat hij goed acht in de praktijk, maar bij de communicatie binnen het beroepsveld en vooral in communicatie buiten dit beroepsveld is nuance of het gebruik van evidentie geadviseerd. Dit

wordt bevestigd door de beschrijving van Rittweger (persoonlijke communicatie, 22 november 2018) over zijn ontmoeting met een osteopathie student in de trein, welke uitweidt over het behandelen van de liquor.

Uit dit onderzoek komen enkele interessante bevindingen naar voren die potentie hebben voor verder onderzoek. Het advies van Rittweger (persoonlijke communicatie 22 november) om verder onderzoek te doen naar het effect van osteopathie op de pijnbeleving en daarmee het belastingspatroon van de patiënt, strookt met de bevindingen van Denslow en Clough (1947), Korr (1947), Buskirk (1990) en Howell en Willard (2005) over de segmentale facilitatie of sensitisatie en de beeldspraak van van der Geer (persoonlijke communicatie, 1 februari 2019) over signalen die een osteopathische dysfunctie veroorzaken, welke de communicatie in het lichaam verstoren. Een voorbeeld, gegeven door Rittweger, is het meten van het belastingsniveau van de patiënt met een intraossaire dysfunctie voor en na een intraossaire interventie. Het belastingsniveau kan gemeten worden met een stappenteller of een 'activity tracker'. Alhoewel een activity tracker als stappenteller een betrouwbaar meetinstrument is (Fokkema, Kooiman, Krijnen, van der Schans & de Groot, 2017; Straiton et al. 2018), is het terugleiden van het aantal stappen na het gebruik van een intraossaire techniek niet valide. Het meten van verandering in het aantal stappen na een intraossaire techniek wordt vertroebeld door de vele factoren waar de mens onderhevig aan is in het dagelijks leven. Denk hierbij aan de gemoedstoestand, het weer en autopech. Uit onderzoek blijkt dat sensitisatie een steeds grotere rol krijgt toegewezen in langdurige onbegrepen klachten, zoals het syndroom fibromyalgie (Woolf, 2004; Harte, Harris & Clauw, 2018). Beeldvormende technieken geven steeds meer evidentie voor de aanwezigheid van sensitisatie (Harte, Harris & Clauw, 2018). De uitslagen wijzen uit dat er veranderingen plaatsvinden in de grijze stof van pijnprikkel verwekkende gebieden zoals de thalamus, het periaqueductale grijs, de insula, de cingulate cortex en de somatosensorische cortex. Ook vinden er neurochemische aanpassing plaats, zoals een verhoogde concentratie excitatie neurotransmitters en een verlaagde concentratie inhibitie neurotransmitters (Harte, Harris & Clauw, 2018). Er wordt onderscheid gemaakt in een 'top-down' en 'bottom-up' sensitisatie, waarbij de 'top-down' sensitisatie in stand wordt gehouden door de hogere centrale structuren. De 'bottom-up' sensitisatie wordt in stand gehouden door een constante input van nociceptie, waarvan wordt geloofd dat de sensitisatie zal afnemen als de nociceptie afneemt (Harte, Harris & Clauw, 2018). De verstoorde communicatiekanalen kunnen zorgen voor het maskeren van de bron, welke zorgt voor de segmentale facilitatie en daarmee de 'bottom-up' sensitisatie. Verder onderzoek is nodig om het effect van de osteopathische benaderwijze op 'bottom-up' sensitisatie meetbaar te maken. Patiënten kunnen geïncludeerd en geëvalueerd worden door de aanwezigheid van chronische klachten, vragenlijsten en 'quantitative sensory testing'. 'Quantitative sensory testing' is een valide wijze om de sensibele kwaliteiten van het somatosensorisch zenuwstelsel afzonderlijk van elkaar te testen door gestandaardiseerde prikkels van een specifieke sterkte en duur toe te dienen, zoals thermische, mechanische en elektrische stimuli (Siao & Cros, 2003).

## LITERATUURLIJST:

---

Arcand, J. (2011). *Evaluation du traitement osteopathique intra-osseux de lésions osseuses tibiales.* (Thesis) Collège d'Etudes Osteopathiques de Montréal.

Ahn, A.C. Grodzinsky, A.J. (2009) Relevance of collagen piezoelectricity to “Wolff’s Law”: a critical review. *Medical Engineering & Physics*, 31(7) 733-741

Blechsmidt, E. (2004). *The Ontogenetic Basis of Human Anatomy; A Biodynamic Approach to Development from Conception to Birth.* Berkely, California: North Atlantic Books Berkely

Brakebusch, C. Fässler, R. (2003). The integrin-actin connection, an eternal love affair. *The EMBO Journal*, 22(10) 2324-2333

Brousse, C., Piette, A. M., Ackermann, F., Kahn, J. E., & Boisaubert, B. (2011). Bone lesions. *La Revue Médecine Interne*, 32(12), 766-767

Brown, J. (2008). *A qualitative analysis & synthesis of Compactions & Intraosseous Lesions: Osteopathic, scientific & practical perspectives* (Thesis) Canadian College of Osteopathy

Burns, L. (1931). *The Laboratory Proofs of the Osteopathic Lesion: A Survey.* Yearbook of American Academy of Osteopathy 97.

Burns, L. (1931). *Studies in the Osteopathic Sciences: Cells of the Blood.* The A.T. Still Research Institute

Buskirk, van R. L. (1990). Nociceptive reflexes and the somatic dysfunction: A model. *The Journal of the American Osteopathic Association*, 90 (9), 792-194, 197-809

Capobianco, A. D. (2003, February). The Cranial Base Under Strain: Causes and Consequences (part 1 of 2). *The Cranial Letter*, 56 (1) 10-15.

Capobianco, A. (2003, May). The Cranial Base Under Strain: Causes and Consequences (part 2 of 2). *The Cranial Letter*, 56 (2) 7-10.

Chauffour, P., & Prat, E. (2002). *Mechanical Link: Fundamental principles, theory and practice following an osteopathic approach* (M. Bureau, Trans.). Berkeley: North Atlantic Books.

Chauffour, P. (2012). *Mechanical Link: osteopathic lesions of bone.* Vannex Cedes, France: Sully

Chen, C.S. Ingber, D.E. (1998) Tensegrity and mechanoregulation: from skeleton to cytoskeleton. *Osteoarthritis and Cartilage*, 7(1) 81-94

Chicurel, M.E. Chen, C.S. & Ingber, D.E. (1998) Cellular control lies in the balance of forces.

*Current opinion in Cell Biology*, 10(2) 232-239

Cowin S.C. (2002) Mechanosensation and fluid transport in living bone. *Journal of Musculoskeletal Interaction*, 2(3) 256-260

Currey, D.C. (2002). *Bones structure and mechanics* (Second edition). Princeton, New Jersey: Princeton University Press

Davidson, S. (2005). Pelvic Postural Asymmetry: Letter to the Editor. *Journal of the American Osteopathic Association*, 105(9) 403,425

Dempster D.W. (2006), Anatomy and Functions of the Adult Skeleton. *Primer on the Metabolic Bone Diseases and Disorders of Mineral Metabolism*, The American Society for Bone and Mineral Research. 7–11

Denslow, J. S., & Clough, G. H. (1941). Electromyographic Studies of Structural Abnormalities. *Journal of the American Osteopathic Association*, 101(2), 101-105

Denslow, J.S.; Korr, I.M. and Krems, A.D. (1947) Quantitative studies of chronic facilitation in human motoneuron pools. *The American Journal of Physiology*. 150(2) 229-238

Dillaman, R.M. Roer, R.D. Gay D.M. (1991) Fluid movement in bone: theoretical and empirical. *Journal of Biomechanics*, 24(1) 163-177

Drews, U. (1995) *Color Atlas of Emrbyologie* (1e editie) New York, United States: Thieme

Emin, K. Owens, S. Ford, M.A. & Bass, M. (2012) Bone Mineral Density of Adolescent female players and nontennis players. *Journal of Osteoporosis*, 1. 1-4

Fantner, E.F. Hassenkam, T.U.E. Kindt, J.H. Weaver, J.C. Birkedal, H. Pechenik, L. ... Hansma, P.K. (2005) Sacrificial bonds and hidden length dissipate energy as mineralized fibrils separate during bone fracture. *Nature Materials*, 4(8) 612-616

Fantner, E.F. Oroudjev, E. Schitter, G. Golde, L.S. Thurner, P. Finsch, M.M. ... Hansma, P.K. (2006) Sacrificial Bonds and Hidden Length: Unraveling Molecular Mesostructures in Tough Materials. *Biophysical Journal*, 90(4) 1411-1418

Fleming, J. T., Barati, M. T., Beck, D. J., Dodds, J. C., Malkani, A. L., Parameswaran, D., . . . Feitelson, J. B. A. (2001). Bone Blood Flow and Vascular Reactivity. *Cells Tissues Organs*, 169(3), 279-284.

Fokkema, T. Kooiman, T.J. Krijnen, W.P. van der Schans, C.P., de Groot, M. (2017) Reliability and Validity of Ten Consumer Activity Trackers Depend on Walking Speed. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(4) 793-800

Frost, H. M. (1994) Perspectives: A Vital Biomechanical Model of the Endochondral Ossification Mechanism. *The Anatomical Record*, 240(4) 435-446

Frost, H.M. (1994) Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: an overview for clinicians. *The Angle Orthodontist*, 64 (3) 175-188

Frost, H.M. (2003) On the strength-safety factor (SSF) for load-bearing skeletal organs. *Journal for Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 3 (2) 136-140

Fryer, G. (2016) Somatic dysfunction: An osteopathic conundrum. *International Journal of Osteopathic Medicine*, 22. 62-63

Geer, van der L. (2014). Back To The Bone. *De Osteopaat*, 4.

Graf, B.K., Cook, D.A. De Smet, A.A., Keene JS. "Bone bruises" on magnetic resonance imaging: evaluation of anterior cruciate ligament injuries, *American Journal of Sports Medicine*, 21(2) 220-223

Green, C. Martin, C.W. Basset, K. Kazanjian, A. (1999) A systematic review of craniosacral therapy: biological plausibility, assessment reliability and clinical effectiveness. *Complementary Therapies in Medicine*, 7(4) 201-207

Grüneboom, A. Hawwari, I. Weidner, D. Culemann, S. Müller, S. Henneberg, S. Brenzel, S. ... Gunzer, M. (2019) A network of trans-cortical capillaries as mainstay for blood circulation in long bones. *Nature Metabolism*, 1. 236-250

Guillaud, A. Darbois, N. Monvoisin, R. Pinsault, N. (2016) Reliability of Diagnosis and Clinical Efficacy of Cranial Osteopathy: A systematic Review. *PLoS One*, 11(12) 1-21

Haller, H. Lauche, R. Cramer, H. Rampp, T. Saha, F.J. Ostermann, T. Dobos, G. (2016) Craniosacral Therapy for the Treatment of Chronic Neck Pain: A Randomized Sham-controlled Trial. *The Clinical Journal of Pain*, 32(5) 441-449

Han, B. Wei, S.P. Zhang, X.C. Li, H. Li, R.X. Li, K. Zhang, X.Z. (2018) Effects of constrained dynamic loading, CKIP-1 gene knockout and combination stimulations on bone loss caused by mechanical unloading. *Molecular medicine reports*, 18(2) 2506-2514

Handoll, N. (2000). *The Anatomy of Potency*. Hereford, England: Osteopathic Supplies Ltd

Hanten, W.P. Dawson, D.D, Iwata, M. Seiden, M. Whitten, F.G. Zink, T. (1998) Craniosacral rhythm: reliability and relationships with cardiac and respiratory rates. *Journal of*



*Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 27(3) 213-218

Harte, S.E. Harris, R.E. Clauw, D.J. (2018) The neurobiology of central sensitization. *Journal of Applied Biobehavioral Research*, 23(2) 1-25

Hartmann, M.A. Fratzl, P. (2009) Sacrificial Ionic Bonds Need To Be Randomly Distributed To Provide Shear Deformability. *Nano Letters*, 9(10) 3603-3607

Heller, M. (2001). Intraosseous Restrictions. . *Dynamic Chiropractic*, 19(23) 1-3

Heller, M. (2004) The Hip Joint – Another Perspective: Intraosseous Restrictions of the Neck of the Femur. *Dynamic Chiropractic*, 22(22) 1-4

Heller, M. (2005). The Tibia and Femur: Long-Bone Intraosseous Restrictions. *Dynamic Chiropractic*, 23(08). 1-4

Hong, J. Sang, Ok ko, S. Khang, G. Seong Mun, M. (2008) Intraosseous pressure and strain generated potential of cylindrical bone samples in the drained uniaxial condition for various loading rates. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 19(7) 2589-2594

Horton, J. (2011). *The effect of osteopathic treatment on consolidated fractures of long bones as measured by quantitative ultrasound* (Thesis) Canadian College of Osteopathy, Toronto.

Howell, J., & Willard, F. (2005). Nociception: New Understandings and Their Possible Relation to Somatic Dysfunction and its Treatment. *Ohio Research and Clinical Review*, 15.

Ingber, D.E. (1993) Cellular tensegrity: defining new rules of biological design that govern the cytoskeleton. *Journal of Cell Science*, 104 (3), 613-627

Ingber, D.E. (2006) Cellular mechanotransduction: putting all the pieces together again. *The FASEB Journal*.20(7): 811-827

Ingber, D.E. (2008) Tensegrity and Mechanotransduction. *Journal of Bodywork and Movement Therapy*, 12(3) 198-200

Ingber, D.E. (2009) Tensegrity-Based Mechanosensing from Macro to Micro. *Progress in Biophysics & Molecular Biology*. 97(2) 163-179

Jäkel, A., von Hauenschild, P. (2012) A systematic review to evaluate the clinical benefits of craniosacral therapy *Complementary therapies in medicine*, 20(6) 456-465

Jecmen, J. M. (2002, May). Intrabony Strains. *The Cranial Letter* , 55(2) 9-10

Juhl, J. H. (2005). Pelvic Postural Asymmetry Revisited. *Journal of the American Osteopathic Association*, 105(9)

Juhl, H.J., Ippolito Cremin, T.M. Russel, G. (2004) Prevalence of Frontal Plane Pelvic Postural Asymmetry – Part 1. . *Journal of the American Osteopathic Association*. 104(10) 411-421

Korr, I. M. (1947). The Neural Basis of the Osteopathic Lesion. *Journal of the American Osteopathic Association*, , 47(4) 191-198.

Lanyon L.E. Hartman (1977) W. Strain related electrical potentials recorded in vitro and in vivo . *Calcified tissue research*, 22(3) 315-327

Magee D. (2007). *Scientific Foundations and Principles of Practice in Musculoskeletal Rehabilitation*. Saskatchewan, Canada: Saunders Elsevier

Magoun, H. I. (1999, May). An Intra-Osseous Lesion. *The Cranial Letter* , 52(2) 13

Martin, R.B, Burr, D.B. (1990) Structure, Function and Adaptation of Compact Bone. *New York: Raven*, 21(4) 261

Meyers, T. (2009). *Anatomy Trains* (2<sup>e</sup> editie). Edinburgh, Scotland: Elsevier

Moore K.L.(2009). *The Developing Human* (8<sup>e</sup> editie). Jersey City, Philadelphia: Saunders Elsevier

Morree, de J.J. (2009). *Dynamiek van het Menselijk Bindweefsel* (5<sup>e</sup> editie). Houten, Nederland: Bohn Stafleu van Loghum

Muntinga, E. (2013) *Thermographic Skin Measurement And Osteopathic Palpation Of Tibial Intraosseous Strains In Adults – A Comparative Pilot Study* (thesis). Verkregen via [http://www.osteopathicresearch.org/index.php?option=com\\_jresearch&view=publication&ask=show&id=15308&lang=en](http://www.osteopathicresearch.org/index.php?option=com_jresearch&view=publication&ask=show&id=15308&lang=en)

Nagatomi, J. Arulanandam, B.P. Metzger, S.W. Meunier, A. Bizios, R. (2002) Effects of Cyclic Pressure on Bone Marrow Cell Structures. *Journal of Biomechanical Engineering*, 124(3) 308-314

O'Connor, S. (2003). *CEO Course Notes: Intraosseous Lesions*. Montreal: Unpublished.

Olsen, B.R. (2000) Bone development. *Annual Review of Cell and Development Biology* , 16. 191-220

Park, W., Nam, W., Park, H. S., & Kim, H. J. (2008). Intraosseous lesion in mandibular condyle mimicking temporomandibular disorders: report of 3 cases. *Journal of Oral & Facial Pain*, 22(1) 65-70.

Peters, R., & Mathieu, D. (2002). *Osteopathic Decompression of the SBS, C0-C3, L5-S1, S1-S5 and the SI joint and its effect on improving weight distribution in the elderly*. (thesis) Canadian College of Osteopathy.

- Pflüger, C. (2008). *The Meaning of Tensegrity Principles for Osteopathic Medicine* (Master thesis). Donau University Krems & Vienna School of Osteopathy.
- Robling, A.G. Stout, S.D. (1999) Morphology of the Drifting Osteon. *Cells Tissues Organs*, 164(4) 192-204
- Rogers, J.S. Witt, P.L. Gross, M.T. Hacke, J.D. Genova P.A. (1998) Simultaneous palpation of the craniosacral rate at the head and feet: intrarater and interrater reliability and rate comparisons. *Physical Therapy*, 78(11) 1175-1185
- Rubin, C. Rubin, J. (2014) Biomechanics and Mechanobiology of Trabecular Bone: A Review. *Journal of Biomechanical Engineering*, 137(1) 1-15
- Sadler, T.W. (2009). *Langman's Medical Embryology* (11<sup>e</sup> editie). Pennsylvania, Philadelphia: Wolters Kluwer
- Sanerkin, N. G., Mott, M. G., & Roylance, J. (1983). An unusual intraosseous lesion with fibroblastic, osteoclastic, osteoblastic, aneurysmal and fibromyxoid elements. "Solid" variant of aneurysmal bone cyst. *Cancer*, 51(12), 2278-2286.
- Sarvazyan, A. Tatarinov, A. Sarvazyan, N. (2005) Ultrasonic assessment of tissue hydration status. *Ultrasonics*, 43(8) 661-671
- Scarr, G. (2014). *Biotensegrity; The Structural Basis of Life*. East Lothian, Scotland: Handspring Publishing
- Siao, P. Cros, D.P. (2003) Quantitative Sensory Testing. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 14(2) 261-286
- Sills, F. (2001). *Craniosacral Biodynamics Vol 1: The Breath of Life, Biodynamics and Fundamental Skills*. Berkeley: North Atlantic Books.
- Sills, F. (2003). *Craniosacral Biodynamics: Volume 2*. Berkely: North Atlantic Books.
- Snider. K.T., Johnson, J.C. Degenhardt, B.F. Snider, E.J. Burton, D.C. (2014) Association of Low back Pain, Somatic Dysfunction, and Lumbar Bone Mineral Density: Reproducibility of Findings. *The Journal of the American Osteopathic Association*, 114(5) 356-366
- Snider KT, Johnson JC, Snider EJ, Degenhardt BF.(2008) Increased incidence and severity of somatic dysfunction in subjects with chronic low back pain. *The Journal of the American Osteopathic Association*. 108(8) 372-378.
- Sommerfeld, P. Kaider, A. Klein, P. (2004) Inter- and intraexaminer reliability in palpation of the "primary respiratory mechanism" within the "cranial concept". *Manual Therapy*, 9(1) 22-29
- Sostres, C. Gargallo, C.J. Arroyo, M.T. Lanás, A. (2010) Adverse effects of non-steroidal anti-

inflammatory drugs (NSAIDs, aspirin and coxibs) on upper gastrointestinal tract. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology* , 24(2) 121-132

Stone, C. A. (1999). *Science in the Art of Osteopathy*. Cheltenham, UK: Nelson Thornes Ltd

Straiton, N. Alharbi, M. Bauman, A. Naubeck, L. Gullick, J. Bhindi, R. Gallagher, R. (2018) The validity and reliability of consumer-grade activity trackers in older, community-dwelling adults: A systematic review. *Maturitas*, (112) 85-93

Thibeault, F. (2006). *Osteopathy in the Treatment of Colle's Fractures: Objectivation of the Intraseous Lesion (Unpublished Thesis) Protocol*.CEO, Montreal:

Thibault, F. (2009). *L'approche intra osseuse dans le traitement des fractures consolidées de l'extrémité distale du radius* (Thesis). Collège d'Etudes Osteopathiques de Montréal, Montreal.

Thompson, J.B. Kindt J.H. Drake, B. Hansma H.G. Morse, D.E., Hansma, P.K. (2002) Bone indentation recovery time correlates with bond reforming time. *Letters To Nature*, 414(6865) 773-776

Turner, C.H. Pavalko F.M. (1998)Mechanotransduction and functional response of the skeleton to physical stress: The mechanism and mechanics of bone adaption. *Journal of Orthopedic Science*, 3(6) 346-355

Weinbaum, S. Cowin, S.C. Zeng, Y. (1994) A model for the excitation of osteocytes by mechanical loading-induced bone fluid shear stresses. *Journal of Biomechanics*, 27(3) 339-360

Wirth-Patullo, V. Hayes, K.W. (1994) Interrater reliability of craniosacral rate measurements and their relationships with subjects' and examiners' heart and respiratory rate measurements. *Physical Therapy*, 74(10) 908-9016

Woolf, C.J. (2004) What to call the amplification of nociceptive signals in the central nervous system that contribute to widespread pain? *Pain*, 155(10) 1911-1912

Wu, X. Wang, N. Wang, Z. Yu, W. Wang, Y, Guo, Y. Weiyi, C. (2016) Mathematically modeling fluid flow shear stress in the canalicu of a loaded osteon. *BioMedical Engineering OnLine* , 15(2) 261-273

Yavropoulou, M.P. Yovos, J.G. (2016) The molecular basis of bone mechanotransduction. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 16(3) 211-236