



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI GENOVA



## **Università degli Studi di Genova**

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica e Scienze Materno-

Infantili

## **Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici**

A.A. 2022/2023

Campus Universitario di Savona

# **“Il ruolo dei meccanoceettori nella terapia manuale”**

Candidato:

Francesca Eleonora Fiori

Relatore:

Mattia Bonfatti

## Sommario

1	Abstract .....	4
2	Introduzione.....	5
3	Materiali e metodi.....	8
3.1	Disegno di studio e quesito clinico .....	8
3.2	Materiali e Metodi.....	8
3.3	Criteri di inclusione.....	9
3.4	Criteri di esclusione .....	9
4	Risultati.....	10
4.1	Selezione degli articoli.....	10
5	I meccanicettori .....	11
5.1	Meccanicettori cutanei.....	11
5.1.1	Low-Threshold Mechanoreceptors .....	13
5.2	Meccanicettori articolari .....	17
5.2.1	Meccanicettori articolari di tipo I.....	17
5.2.2	Meccanicettori articolari di tipo II.....	18
5.2.3	Meccanicettori articolari di tipo III.....	18
5.2.4	Meccanicettori articolari di tipo IV .....	19
5.3	Meccanicettori muscolari.....	20
5.3.1	Fusi neuromuscolari.....	20
5.3.2	Gli organi tendinei di Golgi.....	21
5.3.3	Terminazioni nervose libere .....	22
5.4	I meccanicettori nel distretto caviglia .....	23

6	I meccanicettori ed il loro ruolo nella terapia manuale.....	26
6.1	La Terapia Manuale .....	26
6.2	La Terapia Manuale ed i meccanicettori articolari .....	27
6.3	La Terapia Manuale ed il tatto .....	32
7	Conclusioni .....	33
8	Bibliografia .....	34

## 1 Abstract

**Obiettivo:** Lo scopo del lavoro sarà quello di andare ad analizzare gli articoli, documenti, reviews presenti in letteratura sulla classificazione generale dei meccanocettori, con un focus maggiore sui meccanocettori cutanei ed articolari (nello specifico quelli presenti nel distretto della caviglia), per poter poi trarre le conclusioni su quali elementi potrebbero essere utili o meno nella pratica riabilitativa, con particolare riferimento alle tecniche di terapia manuale.

**Disegno di studio:** Revisione narrativa

**Materiali e metodi:** Le parole chiave utilizzate sono state “mechanoreceptors” - “joint mechanoreceptors” - “proprioception” – “joint position” – “position sense” e le loro possibili combinazioni, utilizzando, quando possibile, anche i termini MeSH (mechanoreceptors[MeSH Terms]), [(proprioception MeSHTerms)]. Le banche dati consultate sono state Medline ed Embase.

**Risultati:** La ricerca bibliografica ha prodotto 1539 risultati; successivamente, con l’obiettivo di individuare gli articoli inerenti allo scopo della revisione narrativa, sono stati sottoposti ad un processo di esclusione in base alla lettura del titolo, degli abstract e del full text, considerando in aggiunta i criteri di inclusione ed esclusione. I restanti 30 risultati sono stati utilizzati per condurre la revisione narrativa.

**Conclusioni:** Oramai è riduttivo pensare alla terapia manuale come unica strategia di trattamento a disposizione del fisioterapista, quando invece, la relazione con il paziente è mediata da ben altri fattori. I meccanocettori potrebbero essere visti come degli intermediari fra stimoli esterni periferici e SNC; son coloro che si occupano di trasdurre e trasmettere input meccanici dalla periferia al centro con determinate finalità, sia di comunicazione e di interazione con il mondo esterno, sia di modulazione interna del dolore. Inoltre, risulta evidente come sia necessaria la collaborazione fra tutte le tipologie di meccanocettori, cutanei, articolari e muscolari, per poter avere un chiaro quadro nella localizzazione e discriminazione degli stimoli provenienti dal mondo esterno, e per captare inoltre tutte quelle informazioni coscienti ed incoscienti che arrivano dall’interno del nostro organismo. La letteratura rimane ancora controversa a riguardo, ma il concetto che risulta ben chiaro è come siano ancora necessari ulteriori studi per chiarire i concetti ed i processi che sottostanno alla terapia manuale.

## 2 Introduzione

Il mondo che ci circonda è ricco di stimoli di varia natura (olfattivi, gustativi, tattili, visivi e uditivi), e noi essere umani dobbiamo essere in grado di riconoscerli ed elaborarli, per produrre poi risposte coerenti, che siano coscienti od automatiche, per far fronte allo stimolo stesso.

Per far ciò, il nostro corpo si affida a svariati sistemi neuronali che, in maniera automatica ed inconscia, cooperano fra di loro per mantenere una condizione chiamata “di omeostasi”, definita come un processo dinamico attraverso il quale l’organismo mantiene e controlla l’ambiente interno malgrado le infinite perturbazioni provenienti dal mondo esterno. (25)

I sistemi neuronali sono dunque impiegati in tre funzioni principali: il sistema sensoriale elabora informazioni riguardanti l’ambiente che lo circonda e l’organismo stesso; il sistema motorio organizza e genera le azioni; i sistemi associativi forniscono le basi per le funzioni cerebrali “superiori”, come la percezione, l’attenzione e la conoscenza, le emozioni, il linguaggio, il pensiero critico e razionale, che rientrano nel campo delle capacità cognitive. (4)

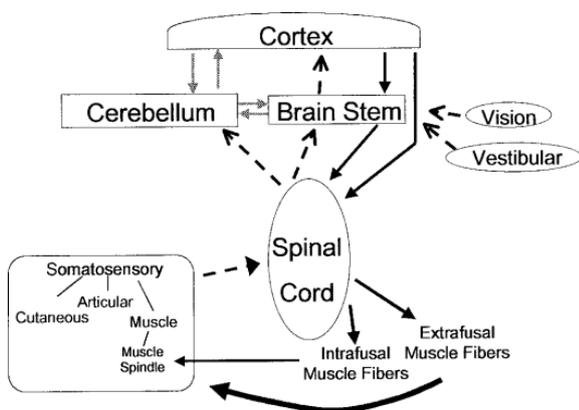
### **Cos’è dunque il sistema sensorimotorio?**

Il termine sistema sensorimotorio viene utilizzato per la prima volta nel 1997 per descrivere le componenti somatosensoriali, motorie e centrali di integrazione ed elaborazione degli stimoli, con il fine di mantenere l’omeostasi articolare durante tutti i movimenti corporei. (25) *Figura 1.*

Banalmente, anche per mantenere l’equilibrio in posizione eretta od il controllo posturale, per esempio durante il cammino, facciamo affidamento a tutta una serie di informazioni sensoriali provenienti dalla periferia grazie al sistema visivo, vestibolare e somatosensoriale; queste informazioni poi, vengono inviate e processate da vari livelli del nostro sistema nervoso centrale (midollo spinale, tronco encefalico, cervelletto e corteccia cerebrale), per attivare una risposta grazie al sistema motorio (risposta che sia essa inconscia o conscia), che dipenderà dalla posizione articolare, dal tipo e dalla direzione della forza, e da quale struttura del sistema nervoso centrale predominerà nell’elaborazione della risposta. (6)

Il sistema nervoso centrale, per regolare i programmi motori, utilizza due differenti meccanismi: a feedback e a feedforward.

Il primo opera direttamente in risposta ad un evento destabilizzante, attivando una risposta muscolare necessaria per ristabilire l'omeostasi; il secondo, invece, opera sulla premessa di una risposta motoria anticipando quello che sarà un carico o un'attività che andrà a perturbare l'omeostasi, basandosi sulle precedenti esperienze in quella medesima situazione. Entrambi i sistemi si basano sull'elaborazione delle informazioni provenienti dalla periferia (6), fornendo il contributo dinamico nel mantenimento della stabilità funzionale articolare, complementariamente al contributo passivo, che sarà invece affidato alle proprietà intrinseche dei legamenti, della cartilagine e della capsula e geometria articolare. (25)



*Figura 1. Il sistema sensorimotorio incorpora tutte le informazioni afferenti, efferenti e centrali di integrazione e di elaborazione coinvolti nel mantenimento della funzionalità delle articolazioni. (25-26)*

Il sistema somatosensoriale svolge dunque tre principali funzioni: una esteroceettiva ed una interoceettiva, rispettivamente per la percezione e reazione agli stimoli esterni ed interni al nostro corpo, ed una funzione propriocettiva, per la percezione ed il controllo della posizione corporea e dell'equilibrio. Inoltre, con il subsistema esteroceettivo buona parte della nostra mappa sensitiva è destinata a decifrare quali stimoli possano essere dannosi o meno per l'organismo. (1)

Il sistema somatosensoriale può essere visto dunque come un sistema composto da tre differenti sottosistemi; risulta quindi ben chiaro come esso svolga un ruolo fondamentale nel riconoscimento e nell'interpretazione di una miriade di stimoli provenienti dal mondo esterno, e come, allo stesso modo, ponga le fondamenta per la successiva organizzazione dei programmi motori.

In questo elaborato si approfondirà un gruppo di neuroni sensoriali, chiamati meccanocettori, divisi, a loro volta, in due categorie: i meccanocettori a bassa soglia d'attivazione (o low-threshold mechanoreceptors - LTMRs), deputati al riconoscimento di stimoli meccanici innocui, ed i meccanocettori ad alta soglia d'attivazione (o high-threshold mechanoreceptors - HTMRs), deputati invece alla captazione di stimoli meccanici nocivi e pericolosi. (1)

L'obiettivo di questo lavoro, dunque, sarà fornire una chiara panoramica sui meccanicettori a bassa soglia d'attivazione localizzati nella pelle glabra del nostro corpo, analizzando fonti primarie, secondarie e terziarie presenti ad oggi in letteratura; nello specifico, poi, verrà eseguito un focus sui meccanicettori cutanei ed articolari del distretto caviglia, per trarre delle conclusioni su quali elementi potrebbero essere utili o meno nella pratica riabilitativa, con particolare riferimento alle tecniche di terapia manuale.

### 3 Materiali e metodi

#### 3.1 Disegno di studio e quesito clinico

Lo scopo della revisione narrativa sarà quello di andare ad analizzare gli articoli, documenti, reviews presenti in letteratura sulla classificazione generale dei meccanocefftori, con un focus maggiore sui meccanocefftori cutanei ed articolari (nello specifico quelli presenti nel distretto della caviglia), per poter poi trarre le conclusioni su quali elementi potrebbero essere utili o meno nella pratica riabilitativa, con particolare riferimento alle tecniche di terapia manuale.

#### 3.2 Materiali e Metodi

Le parole chiave utilizzate per creare la stringa di ricerca sono state scelte in base all'argomento della revisione narrativa; inizialmente non è stata inserita la parola chiave "ankle" poiché la stringa sarebbe risultata troppo specifica per il quesito della ricerca.

Le keywords utilizzate sono state dunque "mechanoreceptors" - "joint mechanoreceptors" - "proprioception" - "joint position" - "position sense" e le loro possibili combinazioni, utilizzando, quando possibile, anche i termini MeSH (mechanoreceptors[MeSH Terms]), [(proprioception MeSHTerms)].

La stringa di ricerca è stata così impostata:

***(((mechanoreceptors) OR ("joint mechanoreceptors")) OR (mechanoreceptor[MeSH Terms])) AND (((proprioception) OR ("joint position")) OR ("position sense")) OR (proprioception[MeSH Terms]))***

*("mechanoreceptors"[MeSH Terms] OR "mechanoreceptors"[All Fields] OR "mechanoreceptor"[All Fields] OR "joint mechanoreceptors"[All Fields] OR "mechanoreceptors"[MeSH Terms]) AND ("proprioception"[MeSH Terms] OR "proprioception"[All Fields] OR "proprioceptional"[All Fields] OR "proprioceptions"[All Fields] OR "proprioceptive"[All Fields] OR "proprioceptively"[All Fields] OR "proprioceptivity"[All Fields] OR "joint position"[All Fields] OR "position sense"[All Fields] OR "proprioception"[MeSH Terms])*

### **Translations**

**mechanoreceptors:** "mechanoreceptors"[MeSH Terms] OR "mechanoreceptors"[All Fields] OR "mechanoreceptor"[All Fields]

**mechanoreceptor[MeSH Terms]:** "mechanoreceptors"[MeSH Terms]

**proprioception:** "proprioception"[MeSH Terms] OR "proprioception"[All Fields] OR "proprioceptional"[All Fields] OR "proprioceptions"[All Fields] OR "proprioceptive"[All Fields] OR "proprioceptively"[All Fields] OR "proprioceptivity"[All Fields]

**proprioception[MeSH Terms]:** "proprioception"[MeSH Terms]

La ricerca è stata condotta utilizzando le banche dati **Medline ed Embase**.

### **3.3 Criteri di inclusione**

Sono stati selezionati i risultati inerenti alla presentazione e classificazione dei meccanoceettori, cutanei articolari e muscolari, includendo gli articoli riguardanti i meccanoceettori del distretto caviglia e gli articoli riguardanti la definizione di propriocezione. Nei risultati della ricerca, inoltre, sono state considerate fonti terziarie, quali libri, articoli di giornale, review, editoriali.

### **3.4 Criteri di esclusione**

Sono stati esclusi tutti quegli articoli

- Non inerenti all'obiettivo della revisione narrativa.
- Non in lingua inglese.
- Che prevedevano trial su animali.
- Troppo specifici riguardanti le articolazioni non inerenti allo scopo dello studio.

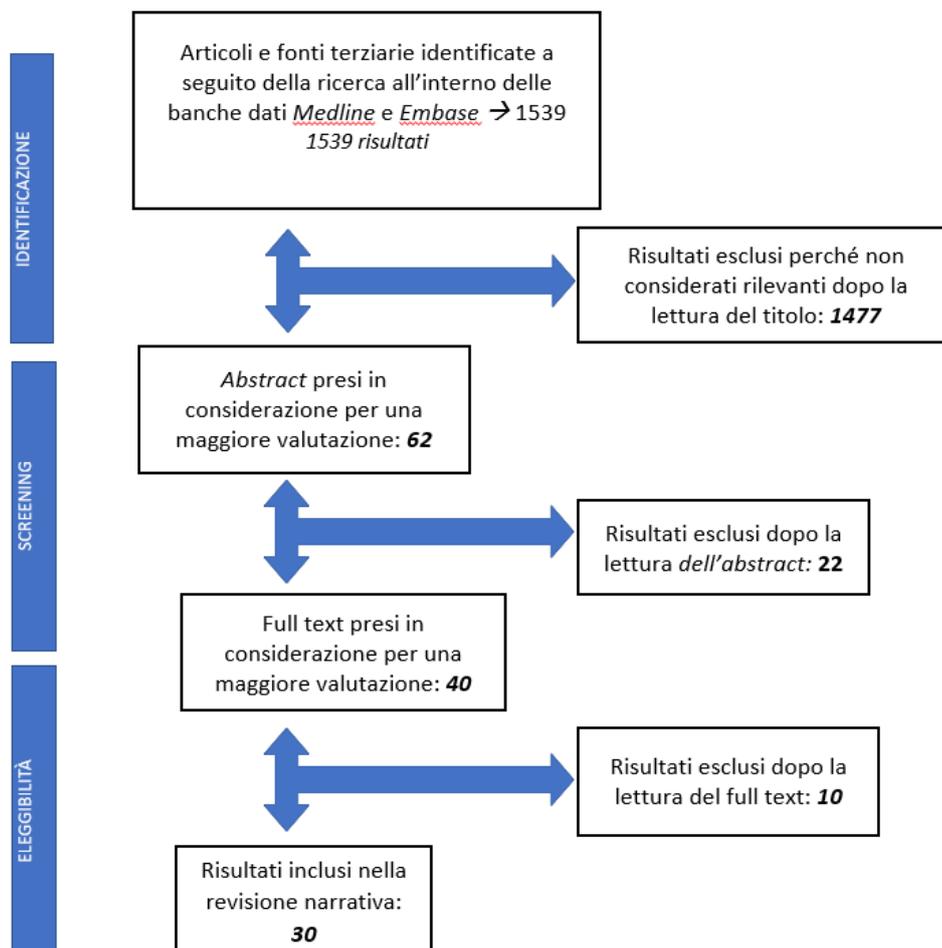
## 4 Risultati

### 4.1 Selezione degli articoli

La ricerca bibliografica per la seguente tesi è iniziata a settembre 2022 ed ha prodotto 1539 risultati; successivamente, con l'obiettivo di individuare gli articoli inerenti allo scopo della revisione narrativa, sono stati sottoposti ad un processo di:

- Esclusione in base alla lettura del titolo: 1477
- Esclusione dopo la lettura degli abstract: 22
- Esclusione dopo la lettura del full text e l'applicazione dei criteri di inclusione ed esclusione: 10

I restanti 30 risultati sono stati utilizzati per condurre la revisione narrativa.



## 5 I meccanocettori

Il sistema somatosensoriale, come abbiamo visto, si occupa di captare e mediare un ampio spettro di stimoli, provenienti sia dall'ambiente esterno che da quello interno; è deputato dunque al riconoscimento di varie sensazioni, tra le quali il tatto, la pressione, le vibrazioni, la posizione degli arti, il caldo ed il freddo, il prurito ed il dolore. (5-25)) Per fare ciò, si affida un gruppo specifico di recettori sensoriali, chiamati meccanocettori, situati nella pelle, all'interno delle capsule articolari, nei legamenti, nei tendini e nei muscoli; proprio a seconda della loro morfologia, sono in grado di captare e riconoscere stimoli differenti (es: un tocco leggero o allungamento del tessuto nel quale risiedono). (6-9-25-30)

Il primo step per il riconoscimento delle sensazioni prevede l'attivazione dei neuroni sensoriali di primo ordine, il cui corpo risiede nei gangli dorsali delle radici spinali; essendo neuroni pseudounipolari, con un ramo assonale ricevono informazioni dalla periferia, con l'altro ramo formano sinapsi con il neurone sensitivo di secondo ordine situato nella materia grigia del midollo spinale, ed in alcuni casi, anche con i nuclei della colonna dorsale del tronco encefalico. (1)

Questi recettori quindi, contengono al loro interno almeno un neurone sensitivo, il quale risponde agli stimoli meccanici generando un potenziale di membrana, con un conseguente rilascio di ioni sodio; questo rilascio permette la trasmissione dell'impulso afferente lungo gli assoni neuronali, passando poi per i corpi cellulari situati nei gangli delle radici dorsali e dei nervi cranici, fino a raggiungere le diverse zone bersaglio del sistema nervoso centrale, per una successiva rielaborazione ed interpretazione dello stimolo afferente in entrata. (5-6)

In base alla loro localizzazione, vengono suddivisi in meccanocettori cutanei, articolari e muscolari.

### 5.1 Meccanocettori cutanei

La pelle può essere considerata come l'organo più complesso ed esteso del corpo umano; è innervata da una complessa combinazione di meccanocettori, ognuno con un profilo fisiologico specifico ed una capacità di risposta ben definita verso stimoli tattili diversi. (16)

La pelle dei mammiferi si presenta sia con peli che senza, specialmente nella zona delle mani e dei piedi; questa è una grande differenza, poiché la pelle glabra è specializzata nel tocco discriminativo capace di riconoscere le forme e le strutture degli oggetti, fornendo informazioni al SNC per intervenire sul controllo dei meccanismi motori per il raggiungimento e presa degli oggetti, così come per il controllo della locomozione. Anche la pelle con i peli possiede un ruolo discriminativo nel riconoscimento degli stimoli, ma con una acuità spaziale nettamente inferiore rispetto la pelle glabra. (34)

I meccanocettori cutanei, in generale, possono essere distinti in due macrocategorie: i meccanocettori a bassa soglia d'attivazione (o low-threshold mechanoreceptors - LTMRs), deputati al riconoscimento di stimoli meccanici innocui, come il tatto, ed i meccanocettori ad alta soglia d'attivazione (o high-threshold mechanoreceptors - HTMRs), deputati invece alla captazione di stimoli meccanici nocivi e pericolosi.

Tutti i neuroni sensitivi cutanei, inoltre, possono essere classificati in base alle dimensioni del corpo cellulare, al diametro assonale, al grado di mielinizzazione ed in base alla loro velocità di conduzione. *Figura 2 (1)*

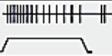
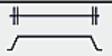
Le fibre sensitive  $A\delta$  e  $A\beta$  presentano rispettivamente una media ed una rapida velocità di conduzione assonale, dovuta al loro grado di mielinizzazione ( $A\beta$  maggiormente mielinizzate di  $A\delta$  e dunque più veloci); inoltre, le fibre  $A\beta$  presentano una bassa soglia di attivazione (LTMRs), ciò significa che sono specializzate nella captazione di stimoli innocui o identificabili meglio come "stimoli tattili leggeri". Le fibre C, invece, sono le fibre più piccole e le più abbondanti, che presentano la velocità di conduzione più bassa in quanto fibre amielinizzate; quest'ultima tipologia, insieme alle fibre  $A\delta$  scarsamente mielinizzate, vengono classificate perlopiù come nocicettori, capaci di captare stimoli meccanici nocivi o stimoli collegati al calore o al freddo. (1)

Un'ulteriore classificazione può essere stilata in base alle loro proprietà di adattamento in risposta ai cambiamenti rapidi dello stimolo meccanico piuttosto che a stimoli sostenuti nel tempo, spaziando dalle fibre a lento adattamento (Slowly Adapting - SA) fino a quelle a rapido adattamento (Fast Adapting - FA). (9) La differenza fra le due risiede nel fatto che i recettori SA sono dei rilevatori "di impronta", ossia trasmettono informazioni per tutta la durata dello stimolo, mentre i recettori FA son rilevatori "di velocità", che presentano un pattern d'attivazione ON-OFF, attivandosi solo all'inizio ed alla fine dello stimolo meccanico. (1-34)

Inoltre, all'interno delle due categorie, risiedono ancora delle differenze.

I recettori SA vengono divisi in SA di tipo 1 e di tipo 2 sulla base della regolarità della frequenza di scarica con la quale mantengono il loro grado di attivazione durante lo stimolo, con le fibre SA1 che posseggono una frequenza di scarica più irregolare rispetto alle fibre SA2, invece più costanti. Differiscono fra di loro anche per il loro campo ricettivo e le loro proprietà di attivazione.

I recettori FA, come i loro fratelli SA, vengono suddivisi a loro volta nelle medesime categorie: FA di tipo 1 e di tipo 2, sulla base della grandezza del loro campo ricettivo e sulla capacità di riconoscimento rispettivamente delle vibrazioni a bassa ed alta frequenza. Anatomicamente entrambe le tipologie dei FA sono associate a dei corpuscoli, grazie anche ai quali si spiegherebbero le proprietà di questa tipologia di recettori. (1)

Physiological subtype	Associated fiber (conduction velocity <sup>1</sup> )	Skin type	End organ/ending type	Location	Optimal Stimulus <sup>4</sup>	Response properties
SAI-LTMR	A $\beta$ (16-96m/s)	Glabrous Hairy	Merkel cell Merkel cell (touch dome)	Basal Layer of epidermis Around Guard hair follicles	Indentation	
SAII-LTMR	A $\beta$ (20-100m/s)	Glabrous Hairy	Ruffini <sup>2</sup> unclear	Dermis <sup>3</sup> unclear	Stretch	
RAI-LTMR	A $\beta$ (26-91m/s)	Glabrous Hairy	Meissner corpuscle Longitudinal lanceolate ending	Dermal papillae Guard/Awl-Auchene hair follicles	Skin movement Hair follicle deflection	
RAII-LTMR	A $\beta$ (30-90m/s)	Glabrous	Pacinian corpuscle	Deep dermis	Vibration	
A $\delta$ -LTMR	A $\delta$ (5-30m/s)	Hairy	Longitudinal lanceolate ending	Awl-Auchene/ Zigzag hair follicles	Hair follicle deflection	
C-LTMR	C (0.2-2m/s)	Hairy	Longitudinal lanceolate ending	Awl-Auchene/ Zigzag hair follicles	Hair follicle deflection	
HTMR	A $\beta$ /A $\delta$ /C (0.5-100m/s)	Glabrous Hairy	Free nerve ending	Epidermis/Dermis	Noxious mechanical	

*Figura 2. Divisione e classificazione dei vari meccanocettori cutanei (1)*

### 5.1.1 Low-Threshold Mechanoreceptors

I meccanocettori a bassa soglia di attivazione (fibre A $\beta$ ) presenti nella pelle glabra del nostro corpo possono essere suddivisi in quattro differenti categorie, ognuno associato a delle estremità terminale differenti. Di fatto quindi, i meccanocettori sono terminazioni nervose libere, dotate o meno di organi terminali specializzati. (31)

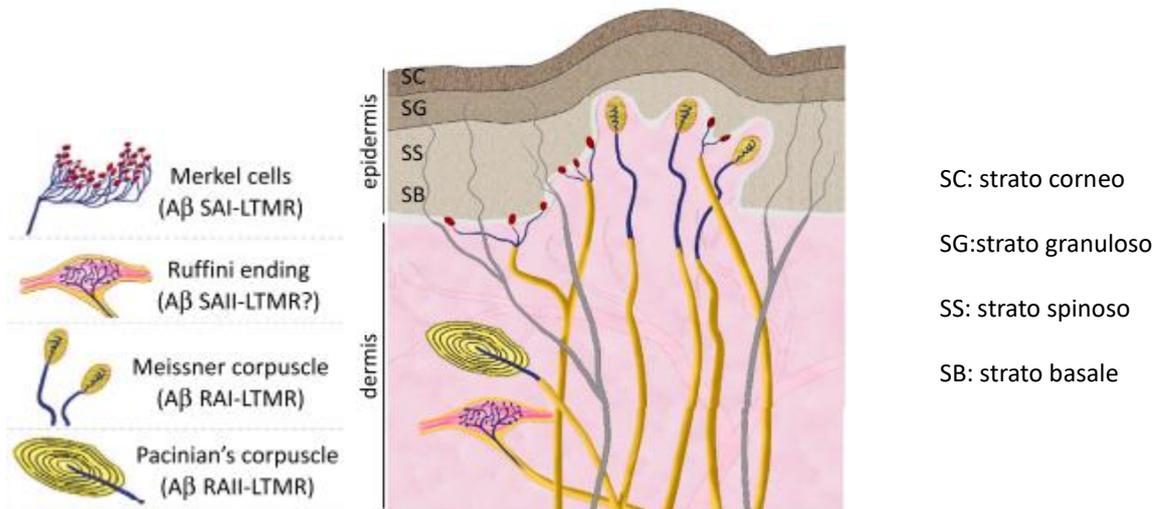


Figura 3. Organizzazione dei meccanocettori cutanei nella pelle glabra (1)

### 5.1.1.1 Aβ SA1-LTMRs e le cellule di Merkel

Le cellule di Merkel sono un gruppo di cellule specializzate presenti in zone della pelle molto sensibili come i polpastrelli delle dita o nelle labbra; ogni cellula di Merkel è innervata da una branca allargata di una fibra afferente Aβ (si suppone che un assone innervi all'incirca 100 cellule di Merkel).

Il complesso fibra Aβ SA1-LTMRs/cellule di Merkel si trova nello stato basale dell'epidermide e trasmette informazioni dettagliate sulla consistenza e sulla forma degli oggetti (punte, angoli, curvature) fornendo un'accurata immagine spaziale dello stimolo, rendendo possibile la discriminazione della posizione e della velocità dello stimolo afferente.

Questa struttura reagisce dunque alle forze meccaniche sulla pelle con una risposta sostenuta e graduata, costellata da una frequenza di scarica ad intervalli irregolari, linearmente correlati con la profondità della "pressione" ricevuta. Questa unione è dunque responsabile della nostra elevata capacità discriminativa tattile e della nostra abilità di identificare spazialmente lo stimolo.  
(1-5-13-34)

### **5.1.1.2 A $\beta$ SA2-LTMRs ed i corpuscoli di Ruffini**

I recettori SA2, come i SA1, presentano una risposta continua e graduata allo stimolo pressorio ricevuto sulla pelle, ma, a differenza dei SA1, differiscono sia per loro frequenza di scarica, con intervalli più regolari ed uniformi, sia per gli organi terminali specializzati, i quali, in questo caso, risultano derivare dalle terminazioni di Ruffini, anche se mancano delle prove dirette per confermare questa ipotesi. Inoltre, differiscono dai SA1-LTMRs poiché sono molto meno sensibili agli stimoli tattili pressori, ma presentano una sensibilità doppia o addirittura quadrupla allo stiramento della pelle ed ai cambiamenti della forma della mano e delle dita.

Fisiologicamente i recettori SA2 condividono diverse caratteristiche con i propriocettori, e morfologicamente, le terminazioni di Ruffini sembrano essere molto simili agli organi tendinei del Golgi, propriocettori localizzati a livello muscolare. Nonostante queste informazioni, le funzioni e le proprietà morfologiche dei SA2-LTMRs ed i corpuscoli di Ruffini rimangono ancora pressoché sconosciute. (1-27-34)

### **5.1.1.3 A $\beta$ FA1-LTMRs ed i corpuscoli di Meissner**

Uno dei tratti distintivi delle fibre a rapido adattamento è il loro comportamento ON-OFF, ossia vengono attivate solo all'inizio ed alla fine del contatto, a differenza delle fibre a lento adattamento, che mantengono costante la loro attivazione per tutta la durata del contatto meccanico.

I recettori FA1 possono essere considerati come i complementari dei SA1, in quanto giocano ruoli esattamente opposti nel discriminare gli stimoli tattili; infatti, se i recettori SA1 si occupano di fornire informazioni attraverso una elevata risoluzione spaziale dello stimolo con una bassa sensibilità, i recettori FA1 mostrano una minore risoluzione spaziale ma una elevata sensibilità. Questo perché queste due tipologie di recettori si combinano per fornire una immagine spaziale completa dello stimolo tattile. Quindi, in contrasto con i SA, essi si occupano di rilevare le deformazioni dinamiche della pelle, così come allo sfioramento della pelle da parte di un oggetto, in quanto risultano essere quattro volte più sensibili ai movimenti sulla pelle rispetto ai SA. (1-13-16-34)

La struttura anatomica associata ai recettori FA1 sono i corpuscoli di Meissner, localizzati nelle papille dermiche nella pelle glabra, principalmente nelle punte delle dita e nelle piante dei piedi.

Per anni sono stati visti solo come i responsabili della individuazione e discriminazione delle vibrazioni a bassa frequenza sotto i 40Hz, invece, recenti scoperte hanno messo in mostra, oltre le loro proprietà di risposta a stimoli dinamici sulla pelle, le loro capacità di rilevare lo scivolamento di un oggetto dalla mano, fornendo i feedback fondamentali per il controllo della presa degli oggetti. (13)

#### **5.1.1.4 A $\beta$ FA2-LTMRs ed i corpuscoli di Pacini**

Il segno distintivo dei recettori FA2 è la loro estrema sensibilità per le vibrazioni ad alta frequenza (200Hz), trasmesse attraverso gli oggetti tenuti nella mano. Associate alle fibre A $\beta$ -FA2 troviamo i corpuscoli di Pacini, strutture con grandezza fino a 3-4 mm nella mano di un essere umano adulto organizzate in strati di lamelle ovalari che accolgono l'estremità terminale della fibra A $\beta$ . I corpuscoli di Pacini si trovano perlopiù nel palmo e nelle dita della mano, situati in profondità nel derma; proprio per la loro localizzazione, i loro campi recettivi sono parecchio ampi e con poca risoluzione spaziale, spesso comprendendo l'intera mano. Il complesso FA2-CP è dunque responsabile della nostra capacità di rilevare le vibrazioni ad alta frequenza, mediando la percezione delle vibrazioni trasmesse durante la manipolazione di oggetti. (1-13-27-34)

Riassumendo, i meccanocefftori cutanei presenti nella pelle glabra sono di quattro tipi:

- A $\beta$ -SA1 e le cellule di Merkel: rilevazione e discriminazione di forze meccaniche statiche impresse sulla pelle, fornendo una immagine spaziale degli stimoli tattili;
- A $\beta$ -SA2 ed i corpuscoli di Ruffini: molto simili agli organi tendinei del Golgi, si occupano di rilevare l'allungamento e lo stiramento della pelle;
- A $\beta$ -FA1 ed i corpuscoli di Meissner: riconoscono lo sfioramento di un oggetto sopra la pelle e rilevano le vibrazioni a bassa frequenza intorno a 40Hz, oltre a fornire feedback essenziali per la presa di oggetti;
- A $\beta$ -FA2 ed i corpuscoli di Pacini: rilevano le vibrazioni ad alta frequenza intorno ai 200Hz, intervenendo e riconoscendo le vibrazioni durante la manipolazione di oggetti.

## 5.2 Meccanocettori articolari

Le terminazioni nervose presenti nelle articolazioni sinoviali sono costituite da grandi e medie fibre che innervano i piccoli organi terminali sparsi lungo il tessuto articolare, chiamati meccanocettori.

I meccanocettori articolari rispondono alle deformazioni ed agli stimoli meccanici della capsula articolare e dei legamenti, dove sono situati, rappresentando circa il 55% della quantità totale dei nervi articolari, rispetto al rimanente 45% composto da piccole fibre non mielinizzate che si occupano di trasmettere stimoli dolorosi e sensazioni nocicettive. (6-30) Anche questa tipologia di recettori viene ordinata in quattro tipologie diverse, in base alla struttura del recettore stesso, alle caratteristiche fisiologiche e al tipo di fibra nervosa presente. *Figura 4*

### 5.2.1 Meccanocettori articolari di tipo I

I meccanocettori articolari di tipo 1 o recettori di Ruffini son corpuscoli ovalari racchiusi in una capsula molto sottile, e sono presenti nel tessuto capsulare di tutte le articolazioni degli arti, anche se son distribuiti maggiormente nelle articolazioni prossimali, come l'anca, rispetto alle articolazioni distali (es: caviglia). In ogni articolazione nella quale risiedono, alloggiato negli strati più superficiali delle capsule, organizzati tridimensionalmente fino a sei corpuscoli per cluster.

Fisiologicamente, questi recettori si comportano come recettori a bassa soglia di attivazione a lento adattamento (SA-LTMRs), in quanto rispondono alle sollecitazioni meccaniche nelle parti di capsula nelle quali risiedono, proprio per la loro localizzazione in superficie. Buona parte di essi però, sono sempre attivi in ogni posizione articolare, anche quando essa è immobile; questa "scarica" a riposo ha una frequenza di circa 10-20 impulsi al secondo, ed è generata in parte dagli stress creati dai muscoli a livello della capsula, in parte dagli stress capsulari generati dalla differenza pressoria fra l'ambiente intracapsulare ed extracapsulare. L'aumento o la diminuzione di questo "tasso" di scarica a riposo avviene ogni qualvolta l'articolazione viene mossa attivamente o passivamente, oppure quando cambia la tensione muscolare in contrazione isotonica o isometrica, o quando il gradiente pressorio intra ed extracapsulare viene ad alterarsi. Questa frequenza di scarica a riposo permette al corpo di sapere esattamente dove e come sono posizionati i vari arti, in quanto permettono di ricevere inputs costanti sulla posizione articolare.

Per queste motivazioni, i meccanocettori di tipo 1 vengono classificati sia come statici sia come dinamici, in quanto segnalano la posizione articolare statica, i cambi nella pressione intra-articolare, e la direzione, l'ampiezza e la velocità dei movimenti a livello di quella specifica articolazione, indotti sia attivamente sia passivamente. (6-30)

### **5.2.2 Meccanocettori articolari di tipo II**

I recettori di tipo II o recettori di Pacini sono corpuscoli conici ed allungati con una spessa capsula laminare di tessuto connettivo che ingloba un singolo nervo amielinico terminale. Sono presenti nelle capsule articolari fibrose di tutte le articolazioni, anche se, a differenza dei meccanocettori di tipo I, negli arti sono distribuiti maggiormente nelle articolazioni distali, come la caviglia, rispetto alle prossimali (anca).

I meccanocettori di tipo 2 risiedono prevalentemente negli strati più profondi delle capsule articolari e nei cuscinetti adiposi sub-sinoviale intra ed extraarticolari, e vengono distribuiti in cluster da 2-4 corpuscoli. Questi recettori si comportano come recettori a bassa soglia di attivazione a rapido adattamento, per questo motivo sono completamente inattivi quando le articolazioni sono immobili, e diventano attivi per brevi periodi (1 secondo o meno) solo all'inizio del movimento, esclusivamente nel momento in cui avviene lo stress nelle regioni capsulari o nei cuscinetti adiposi nei quali risiedono. Per questo motivo, sono etichettati come meccanocettori dinamici, che rispondono all'accelerazione e decelerazione causati da movimenti articolari attivi o passivi, mentre rimangono silenti quando l'articolazione è immobile o durante il movimento articolare ad una velocità costante. (6-30)

### **5.2.3 Meccanocettori articolari di tipo III**

Se i recettori di tipo I e II sono perlopiù localizzati nelle capsule articolari, i recettori di tipo III, invece, sono distribuiti a livello di tutte le strutture legamentose intrinseche ed estrinseche delle articolazioni. Sono i meccanocettori più grandi e strutturalmente sono identici agli organi tendinei del Golgi, loro omologhi a livello muscolare; si trovano in superficie in prossimità dell'inserzione ossea del legamento, e sono formati da una capsula di tessuto connettivo che accoglie una densa ramificazione di fibre afferenti mielinizzate.

Così come la maggior parte degli organi tendinei del Golgi, i meccanocettori di tipo III si comportano come recettori ad alta soglia a lento adattamento, rimanendo completamente inattivi quando l'articolazione in questione è immobile, ed attivandosi verso i gradi estremi delle posizioni articolari, quando lo stress a livello legamentoso diventa significativo. Inoltre, vengono stimolati anche durante l'applicazione di una trazione longitudinale degli arti, rimanendo attivi ad alta velocità solo se la trazione articolare viene mantenuta. (30)

#### 5.2.4 Meccanocettori articolari di tipo IV

L'ultima categoria di recettori articolari sono strutture non corpuscolari costituite da agglomerati di terminazioni nervose libere perlopiù non mielinizzate, distribuite lungo tutta la superficie della capsula fibrosa articolare, l'adiacente periostio e lungo i cuscinetti adiposi articolari. I meccanocettori di tipo IV rappresentano i recettori nocicettivi del tessuto articolare sinoviale; sono completamente inattivi durante le normali attività, ma vengono stimolati durante tensioni o deformazioni meccaniche importanti, oppure durante il contatto diretto con i diversi mediatori chimici dell'infiammazione, come l'istamina o la bradichinina, rilasciate da tessuti danneggiati o necrotici.

Bisogna sottolineare come questa tipologia di recettori non è presente all'interno delle articolazioni, in quanto il dolore non è sicuramente causato dal tessuto sinoviale intrarticolare.

Type	Morphology	Location	Diameter of parent fibre (µm)	Principle functional characteristics	Eponymous or descriptive terms
I	Globular or ovoid corpuscles, fine capsule, in clusters of 3-6	Fibrous capsule	5-8 (small myelinated)	Mechanoreceptor (low threshold, slowly adapting)	Ruffini ending, Golgi-Mazzoni ending, Meissner corpuscle
II	Cylindrical or conical corpuscles, thick capsule, in groups of 2-3	Fibrous capsule	8-12 (medium myelinated)	Mechanoreceptor (low threshold, rapidly adapting)	Pacinian corpuscle, Golgi-Mazzoni body, Meissner corpuscle
III	Fusiform corpuscles	Ligaments/tendons	13-17 (large myelinated)	Mechanoreceptor (high threshold, very slowly adapting)	Golgi ending, Golgi-Mazzoni corpuscle
IV	Unmyelinated nerve endings	Multiple	<2 (unmyelinated)	Pain receptors	

Type	Location	Threshold	Response	Active
I	Superficial joint capsule Limbs and vertebrae Greater density proximal joints	Low	Slow adapting	Always Static/dynamic
II	Deeper layers of the joint capsule Greater density distal joints	Low	Rapidly adapting	Dynamic only
III	Superficial surface of the joint Ligament	High	Slowly adapting	Dynamic end-range movements Joint traction
IV	Joint capsule, adjacent periosteum Articular fat pads	—	—	Not active in normal circumstances

Figura 4. Le diverse tipologie di meccanocettori articolari. (6-8)

## 5.3 Meccanocettori muscolari

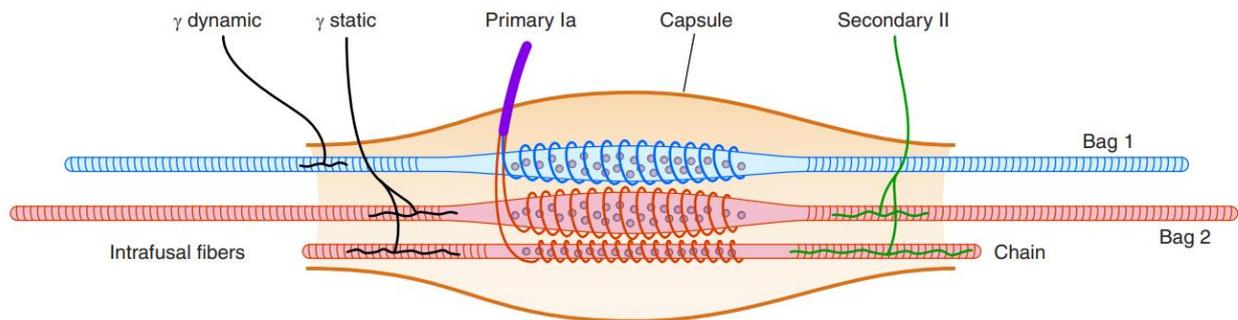
Parallelamente ai recettori ritrovati in strutture non contrattili quali la pelle, le capsule articolari ed i legamenti intrinseci ed estrinseci, troviamo un altro importante gruppo di meccanoceutori, i quali si occupano di fornire feedback propriocettivi provenienti dal tessuto muscolare.

I meccanoceutori presenti nei muscoli e nelle strutture ad essi collegati, quali tendini, aponeurosi e fascia vengono suddivisi in: fusi neuromuscolari, organi tendinei di Golgi e terminazioni nervose libere. (31)

### 5.3.1 Fusi neuromuscolari

I fusi neuromuscolari sono meccanoceutori che forniscono al sistema nervoso centrale feedback riguardo i cambiamenti di lunghezza (e dunque dello stiramento muscolare) e cambiamenti della velocità dell'allungamento muscolare. Questi recettori sono formati da una capsula di tessuto connettivo che accoglie al suo interno dalle quattro alle otto fibre muscolari intrafusali specializzate; queste sono organizzate insieme ed in parallelo con le fibre muscolari extrafusali della muscolatura scheletrica. Le fibre intrafusali sono contrattili alle estremità ma non al centro, e sono formate da fibre a sacco e a catena nucleare, che trasmettono informazioni afferenti statiche e dinamiche al SNC riguardanti lo stato muscolare attraverso l'innervazione delle fibre mielinizzate Ia e II.

Difatti, i fusi neuromuscolari sono innervati da due tipi di fibre: le terminazioni primarie del gruppo Ia, responsabili della trasmissione delle informazioni riguardanti la dinamica degli arti, la velocità e la direzione dei movimenti, producono una risposta rapida in seguito ad un cambiamento nella lunghezza del muscolo; le terminazioni secondarie del gruppo II, forniscono informazioni sulla posizione statica degli arti, producendo una risposta successiva ad un allungamento muscolare costante. Queste afferenze sensoriali sono avvolte intorno alla porzione centrale del fuso neuromuscolare, e quando il muscolo viene stirato ed allungato, la tensione rilevata dalle fibre intrafusali attiva meccanicamente i canali ionici nelle terminazioni nervose, innescando così i potenziali d'azione. (5-6) *Figura 5*



**Figura 5. Rappresentazione schematica del fuso neuromuscolare. (21)**

Le fibre intrafusali sono fibre muscolari contrattili e sono innervate indipendentemente dalle fibre extrafusali da un gruppo di motoneuroni specializzati, chiamati motoneuroni  $\gamma$ , il cui ruolo risiede nel modulare il loro livello di eccitabilità. Le fibre a sacco nucleare sono più sensibili ai cambi nella lunghezza muscolare, come durante l'allungamento in una contrazione eccentrica o un allungamento passivo, e sono innervate dai motoneuroni  $\gamma_1$  dinamici. Le fibre a catena nucleare, invece, sono più sensibili alla lunghezza statica muscolare, e sono innervate dai motoneuroni  $\gamma_2$  statici.

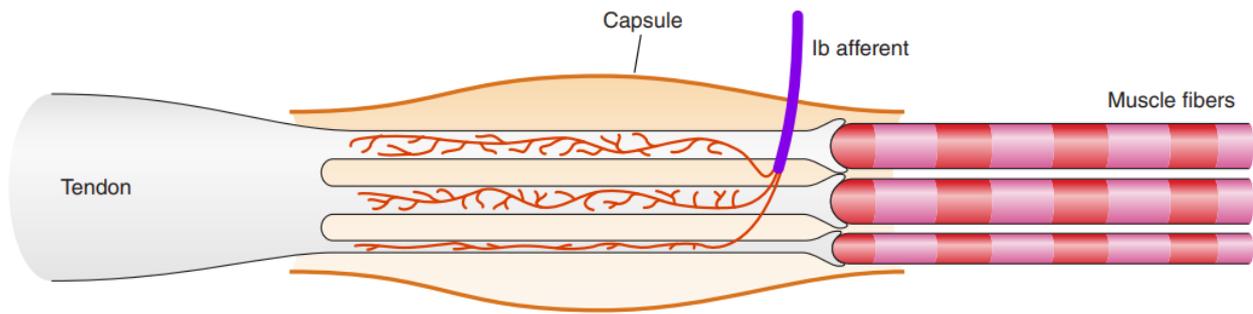
Quando il muscolo subisce uno stiramento, anche il fuso neuromuscolare viene stirato, aumentando la frequenza di scarica delle fibre afferenti citate in precedenza, rendendo il fuso neuromuscolare più sensibile ai cambiamenti nella lunghezza muscolare.

A livello spinale, molteplici recettori, tra cui quelli cutanei, articolari, chimici, influenzano fortemente l'attività dei motoneuroni  $\gamma$ , e di conseguenza, influenzano anche l'attività del fuso neuromuscolare. (5-6-25)

### **5.3.2 Gli organi tendinei di Golgi**

Gli organi tendinei di Golgi, a differenza dei fusi neuromuscolari, informano il SNC sui cambiamenti riguardanti la tensione muscolare; sono innervati da fibre afferenti del gruppo Ib (assoni leggermente più piccoli delle fibre Ia), e sono localizzati fra le fibre collagene a livello della giunzione miotendinea. Sono disposti in serie con circa 10-20 fibre muscolari extrafusali, in maniera tale da captare la tensione muscolare; durante la contrazione attiva, infatti, si produce forza sul tendine (e dunque sulla giunzione miotendinea), che va a comprimere le terminazioni sensoriali Ib, le quali portano segnali afferenti al SNC sullo stato di tensione muscolare generato.

*Figura 6*



*Figura 6. Rappresentazione schematica dell'organo tendineo del Golgi. (21).*

Se il potenziale d'azione generato arriva sopra soglia, e dunque la tensione muscolare viene captata come "eccessiva", tramite un meccanismo a feedback negativo verrà stimolata l'inibizione a livello del midollo spinale dei motoneuroni  $\alpha$  del muscolo in questione, in maniera tale da ridurre lo stato di attivazione quando vengono sviluppate forze eccessivamente grandi. Inoltre, le stesse afferenze Ib stabiliscono sinapsi anche con interneuroni eccitatori che aumentano l'eccitabilità dei motoneuroni  $\alpha$  del muscolo antagonista. Questi meccanismi fungono da protezione in caso dello sviluppo di tensioni muscolari eccessive.

Analogamente ai fusi neuromuscolari, anche le fibre Ib ricevono stimoli sinaptici da altre fonti, tra cui i fusi neuromuscolari, i recettori cutanei ed articolari; agendo in sincronia, tutte queste strutture regolano l'attività degli interneuroni Ib degli organi tendinei di Golgi. (5-6-25)

### **5.3.3 Terminazioni nervose libere**

Le fibre afferenti che non possiedono cellule recettoriali specializzate sono dette terminazioni nervose libere, e sono importanti per la percezione del dolore. Gli stimoli dolorifici sono affidati a due categorie di fibre nervose: le fibre del gruppo A $\delta$  con assoni mielinici e maggiore velocità di conduzione e le fibre del gruppo C, con assoni amielinici e minor velocità di conduzione. (5) In questo elaborato questa tipologia di recettori non verrà approfondita.

## 5.4 I meccanoceffori nel distretto caviglia

I legamenti laterali della caviglia, principalmente il talo-fibulare anteriore (ATFL), il talo-fibulare posteriore (PTFL) ed il calcaneofibulare (CFL), sono i principali interessati nella stabilizzazione del compartimento laterale della caviglia; inoltre, risultano essere le principali vittime nelle distorsioni acute di caviglia che avvengono durante l'attività sportiva, dovute ad un meccanismo lesivo che avviene principalmente in inversione (flessione plantare abbinata a supinazione e adduzione).

La distorsione di caviglia è l'infortunio più comune nel mondo sportivo (ed anche il più sottovalutato), e proprio per questo motivo, svariati studi in letteratura si sono occupati di studiare i meccanoceffori nel distretto della caviglia, sia per verificarne la loro distribuzione a livello legamentoso e capsulare, sia per capirne il loro ruolo ed importanza nell'ampio discorso della propriocezione.

Nel 1995, Michelson et Hutchins, utilizzando la tecnica del cloruro d'oro, si sono occupati di qualificare (secondo la classificazione di Freeman e Wyke) e quantificare la presenza dei meccanoceffori articolari in cinque legamenti della caviglia (ATFL, PTFL, CFL, SD deltoideo superficiale, DD deltoideo profondo); dai risultati è emerso come fossero presenti i meccanoceffori di tipo I, II, III lungo i cinque legamenti citati e lungo tutto il tessuto connettivo perilegamentoso. Nello specifico però, è stata notata un'abbondanza soprattutto dei meccanoceffori di tipo II e III. I meccanoceffori di tipo I "sparano" costantemente e mediano la posizione articolare statica, mentre quelli di tipo II e III si occupano rispettivamente di rilevare accelerazioni/decelerazioni e l'avvicinarsi di posizioni articolari estreme potenzialmente dannose; questo potrebbe essere dovuto proprio al ruolo anatomico e funzionale rivestito dalla caviglia, unica articolazione che prende contatto diretto con il terreno durante tutte le attività della vita quotidiana o sportiva. (17)

Un altro lavoro portato avanti da Moraes et al., nel 2008, è andato a identificare il tipo, la densità e la distribuzione dei meccanoceffori presenti nei tre legamenti laterali della caviglia (ATFL, PTFL, CFL), utilizzando anche in questo caso, il cloruro d'oro; inoltre, ogni legamento è stato diviso in tre parti (prossimale, centrale e distale) a seconda della lontananza dall'inserzione ossea.

Dai risultati è emerso come i meccanocettori rilevati siano gli stessi identificati da Freeman e Wyke (8), con una densità molto elevata dei corpuscoli di Pacini (tipo II) rispetto agli altri tre tipi. Inoltre, è stato visto come non vi siano differenze nella densità dei meccanocettori fra le tre porzioni di legamento prese in considerazione. Anche in questo caso, la preponderanza di meccanocettori di tipo II conferma la necessità di avere feedback rapidi proprio per il ruolo dinamico che riveste l'articolazione della caviglia. (20)

Uno studio più recente del 2013 di Rein et al. però, entra in contrasto con la letteratura precedente; gli autori non mostrano differenze nella densità e distribuzione dei meccanocettori nei legamenti della caviglia nel compartimento mediale, laterale e nel seno del tarso; questa discordanza viene attribuita all'utilizzo per lo studio di una combinazione di markers immunostochimici più adatti ad identificare nello specifico i diversi meccanocettori, a differenza del cloruro d'oro utilizzato negli altri studi. Rein et al., oltre a non aver trovato differenze significative nel numero dei meccanocettori dei legamenti di ogni complesso, non hanno rilevato nessuna differenza intra-legamentosa nella distribuzione dei recettori all'interno di ogni legamento, così come non è emersa nessuna diversità fra lato sinistro e lato destro. (24)

Mildren et al., nel loro articolo del 2017, spiegano come le afferenze sensoriali cutanee della parte posteriore della caviglia forniscano stimoli utili al senso di posizione articolare durante i movimenti passivi, poiché, nonostante l'attività intatta dei fusi neuromuscolari, dei recettori articolari della caviglia e delle afferenze cutanee della parte anteriore e postero-proximale della tibia, aumentava l'errore direzionale della posizione articolare dopo l'anestetizzazione della regione posteriore della caviglia. (18-19)

Una revisione sistematica più recente sulla instabilità cronica di caviglia del 2020 (Xue et al.), suggerisce come le terminazioni di Ruffini ed i corpuscoli di Pacini a livello articolare e legamentoso, contribuiscano rispettivamente al senso della posizione articolare ed al senso di movimento, definito come cinestesia; inoltre, mette in luce come i fusi neuromuscolari possano giocare un ruolo importante in entrambe le situazioni. Si ribadisce come una comunicazione fra i meccanocettori sia fondamentale. Quindi, in soggetti con instabilità cronica di caviglia (CAI), dove a causa dell'infortunio iniziale buona parte degli input propriocettivi sono stati persi, a livello riabilitativo bisogna lavorare su input sensoriali specifici, quali appunto il senso di movimento ed il senso di posizione articolare. (33)

Per concludere, Porske, nel 2023, rivaluta il ruolo dei meccanoceffori sul senso di posizione articolare, sostenendo come i fusi neuromuscolari, da soli, non riescano a segnalare il limite del movimento, ma abbiano bisogno di informazioni complementari provenienti dai meccanoceffori articolari; questo perché in un ROM intermedio articolare i fusi neuromuscolari sono gli unici responsabili della generazione di un segnale trasmettente la “posizione articolare”, e solo combinando questo segnale con quelli provenienti dai meccanoceffori articolari si riesce a creare una immagine completa che comprenda il full range di movimento. (23)

La letteratura, dunque, rimane ancora controversa a riguardo, anche se i differenti risultati potrebbero derivare dalle diverse metodiche utilizzate nei vari studi; quello su cui invece risulta essere d'accordo, è l'importanza di “un dialogo” fra tutte le diverse tipologie di meccanoceffori, cutanei, articolari e muscolari, per permettere il movimento e conoscere la posizione articolare del nostro corpo in ogni momento nello spazio.

## 6 I meccanicocettori ed il loro ruolo nella terapia manuale

### 6.1 La Terapia Manuale

L'IFOMPT, ossia The International Federation of Orthopaedic Manipulative Physical Therapist, definisce la terapia manuale ortopedica come “una branca della fisioterapia per la gestione di condizioni muscoloscheletriche, specializzata nel ragionamento clinico, che utilizza approcci altamente specifici per i trattamenti, quali tecniche manuali ed esercizio terapeutico. La terapia manuale ortopedica comprende ed è basata inoltre sulle evidenze scientifiche disponibili in letteratura e sul contesto biopsicosociale di ogni paziente.” (12)

La Terapia Manuale (TM) viene descritta inoltre dall'APTA (American Physical Therapy Association) e dalla AAOMPT (American Academy of Orthopaedic Manual Physical Therapist) come un approccio clinico basato sull'utilizzo di tecniche manuali specifiche, utilizzate dal fisioterapista, per trattare i tessuti molli e le strutture articolari con vari scopi, quali modulare e ridurre il dolore, aumentare il range of motion (ROM), ridurre o eliminare il gonfiore e l'infiammazione, indurre un rilassamento, favorire il processo fisiologico di riparazione ed estensibilità dei tessuti contrattili e non, facilitare il movimento e aumentare la funzionalità della struttura trattata. La terapia manuale comprende una varietà di tecniche, basate su tessuti target, quali i tessuti molli, il sistema nervoso e le articolazioni, nostre interessate in questa parte di elaborato.

Le tecniche articolari si suddividono in mobilizzazioni e le manipolazioni: la mobilizzazione viene descritta come un continuum di movimenti passivi all'interno del ROM articolare consentito, movimenti che vengono applicati con diverse velocità ed ampiezze, mentre la manipolazione è un movimento a fine range articolare, eseguito molto velocemente e con una piccola ampiezza (High Velocity Low Amplitude – HVLA).

Col passare degli anni, con lo sviluppo di varie metodiche e di vari modelli interpretativi sul dolore e sull'approccio al paziente, si è passati gradualmente dalla visione della terapia manuale come tecnica per “riposizionare” le strutture, con un approccio pressoché biomedico, alla terapia manuale come **una** fra le molteplici strategie riabilitative a disposizione del fisioterapista, in un'ottica biopsicosociale del paziente.

Ma come e perché funziona la terapia manuale? Quali sono i meccanismi alla base?

A questa domanda ci sono ancora ben poche certezze, ma Bialosky et al., nel 2009, cercano di dare una risposta, proponendo un nuovo modello interpretativo della TM nel contesto del dolore muscoloscheletrico; difatti, mettono in luce e raggruppano tutti i possibili processi citati in letteratura alla base del suo funzionamento, con il solo scopo di fornire uno spunto per ulteriori ricerche riguardo i meccanismi sottostanti la terapia manuale. (2)

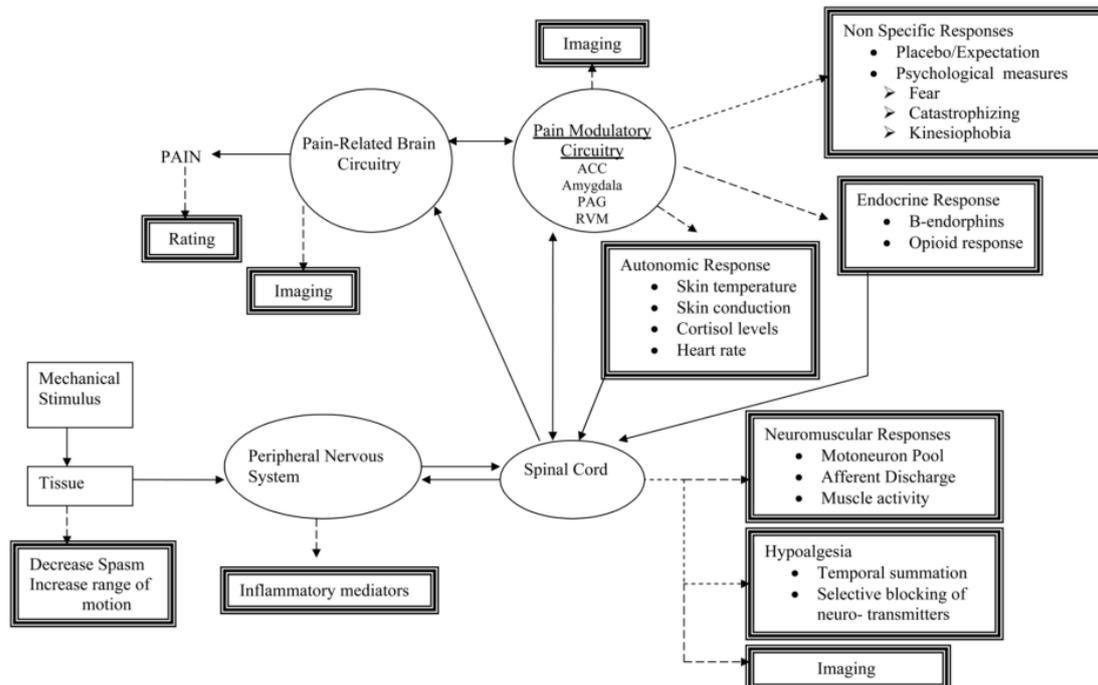
Nel complesso la letteratura suggerisce come la TM abbia un effetto biomeccanico, agendo sulle componenti artrocinematiche dell'articolazione, aumentando ad esempio il ROM articolare; ciononostante, permangono comunque notevoli perplessità, in quanto diverse variabili entrano in gioco in questo rapporto TM e biomeccanica. Difatti, non sono stati riscontrati cambiamenti articolari strutturali duraturi, le forze associate con la TM non sono specifiche e variano da clinico a clinico, la scelta delle tecniche non sembra influenzare poi gli outcomes, e le risposte ai segni ed i sintomi si verificano in aree separate dalla regione di applicazione della tecnica (2-3) (basti pensare all'utilizzo della manipolazione toracica nel trattamento del Neck Pain Acuto). Ci deve essere dunque un ulteriore meccanismo alla base. Dato che nell'uomo non si è ancora in grado di osservare direttamente il sistema nervoso centrale o periferico, si traggono delle conclusioni dalle risposte neurofisiologiche che avvengono dopo la somministrazione di tecniche di terapia manuale; queste reazioni neurofisiologiche originano sia dal sistema nervoso periferico (azione sul metabolismo dei mediatori dell'infiammazione), sia dal midollo spinale (con la modulazione in entrata degli stimoli nocicettivi) e/o dai centri superiori, come il circuito di modulazione del dolore, composto dalla corteccia cingolata anteriore, l'amigdala, il midollo rostrale ventromediale (RVM) e la sostanza grigia periacqueduttale (PAG).

## **6.2 La Terapia Manuale ed i meccanoceetori articolari**

Questo modello proposto da Bialosky et al. (2) suggerisce come uno stimolo meccanico periferico dia il via ad una potenziale cascata di reazioni neurofisiologiche, le quali producono dei risultati clinici che vengono associati alla TM nel trattamento del dolore muscoloscheletrico. Dallo schema, si denota poi una forte interazione fra il sistema nervoso centrale e quello periferico, entrambi interessati nell'esperienza del dolore. Importantissima, e sottolineata da Bialosky et al., in un lavoro successivo del 2018, la figura del provider, o erogatore dello stimolo meccanico,

poiché è stato visto come le preferenze e le aspettative del clinico abbiano una grandissima influenza sugli outcomes nella somministrazione di tecniche di terapia manuale. *Figura 8 (3)*

**Ma quindi, prendendo come spunto il modello di ragionamento di Bialosky, che ruolo possono avere i meccanoceetori articolari nella terapia manuale?**



*Figura 7. Possibile meccanismo d'azione della terapia manuale. (2)*

Per provare a rispondere a questa domanda, bisogna prima fare un excursus sulle tecniche di mobilizzazione articolare, che vengono classificate in base:

- alla direzione del movimento: possono essere dirette od indirette se sono eseguite o meno in direzione della restrizione articolare;
- alla posizione articolare: specifiche o aspecifiche se sono vicine o lontane dalla restrizione del movimento;
- al numero di articolazioni coinvolte: primarie o secondarie se si ha un'azione diretta su quella specifica articolazione o se ne vengono interessate anche delle altre;
- alle componenti delle tecniche: quali movimenti artrocinematici si utilizzano (trazione, traslazione, movimento angolare, spin);
- all'ampiezza del movimento;

- alla frequenza di esecuzione.

Focalizzando l'attenzione sull'ampiezza del movimento, si individuano quattro gradi di applicazione della tecnica:

- Grado I: ROM iniziale senza nessun dolore;
- Grado II: ROM intermedio e minimo dolore;
- Grado III: verso end feel e verso il dolore;
- Grado IV: verso end feel ma con dolore;

Il grado III ed il IV differiscono solo per l'ampiezza della tecnica.

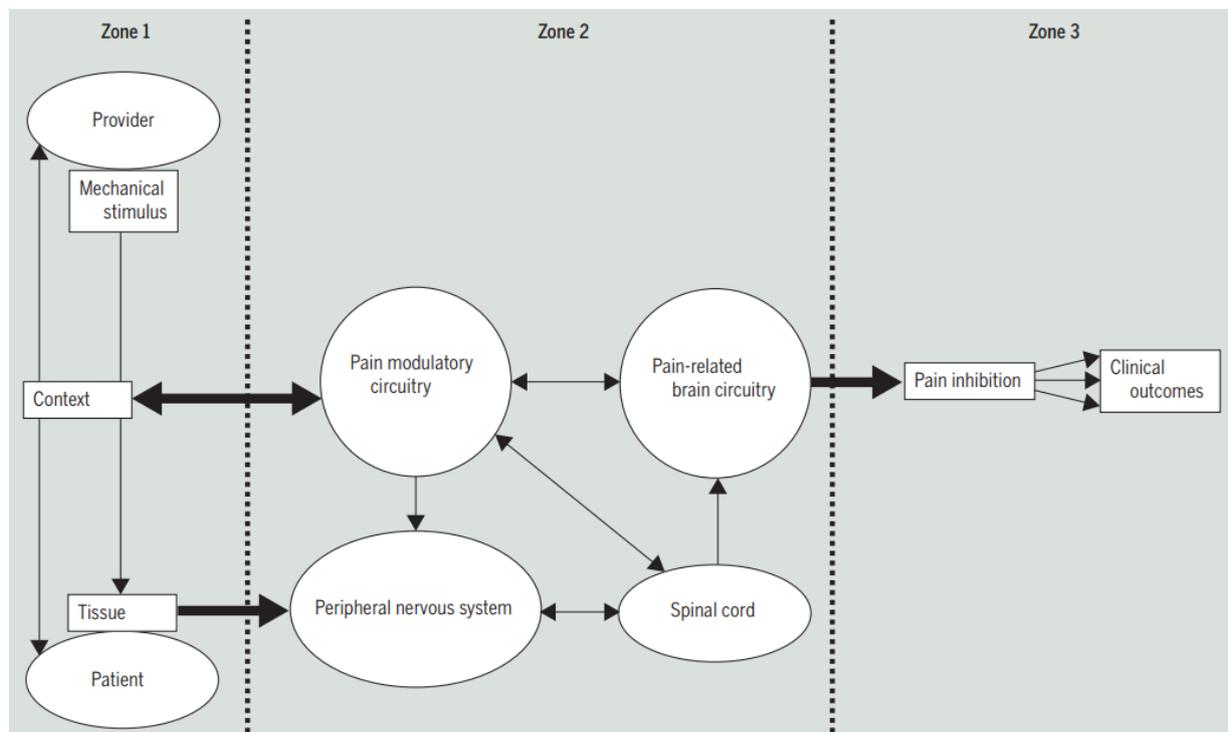
In base alla frequenza di esecuzione, si individuano tecniche a bassa e ad alta velocità.

Le tecniche a bassa velocità di esecuzione sono tecniche che vengono utilizzate a fine range di movimento, con focus sul trattamento di particolari restrizioni, come in caso di rigidità articolare; sono tecniche che prevedono pressioni mantenute dai 5 ai 30 secondi, per circa 1-5 ripetizioni.

Le tecniche ad alta velocità, invece, possono essere viste come delle sorte di "oscillazioni", in quanto hanno una frequenza dai 60 ai 120 impulsi al minuto, con focus sul trattamento del dolore.

Quindi, noi terapisti manuali, come e per quale scopo possiamo sfruttare queste ultime due caratteristiche delle tecniche e le varie proprietà dei meccanocettori articolari?

Come abbiamo visto nel modello proposto da Bialosky et al. (2-3), la potenziale cascata di reazioni neurofisiologiche avviene dopo l'intervento di uno stimolo meccanico a livello periferico da parte di un provider, che può essere, nel nostro caso, **l'applicazione di una mobilizzazione articolare con determinati parametri da parte del fisioterapista.**



*Figura 8. Ruolo del provider nella terapia manuale.*

In base al grado e alla frequenza di applicazione della tecnica, si ottengono dunque differenti effetti neurofisiologici e neuromodulatori del dolore, basati su due diverse ipotesi; la prima riguarda la “teoria del cancello”, secondo la quale stimoli **non nocivi**, come il tatto o la mobilizzazione articolare effettuata in un range indolore, attivino le fibre A $\beta$  a bassa soglia ed i relativi meccanocettori, trasportando input non dolorosi a livello delle corna dorsali del midollo spinale, inibendo così gli inputs nocicettivi trasportati dalle fibre A $\delta$  e C. La seconda invece, riguarda il rilascio e l'azione di svariati neurotrasmettitori, quali serotonina, vasopressina, ossitocina, adenosina, endocannabinoidi e oppioidi endogeni, su varie strutture facenti parte dei **circuiti discendenti modulatori del dolore**, quali il midollo rostrale ventromediale (RVM) e la sostanza grigia periacqueduttale (PAG). (28)

In clinica, qualora si volesse ricercare un effetto analgesico con la TM ci si affida all'applicazione di tecniche di grado I e II, poiché proprio per la loro ampiezza ridotta verso un ROM iniziale ed intermedio nel rispetto del dolore, vanno a fornire input afferenti articolari riconosciuti dal SNC come non pericolosi, poiché stimolano le afferenze A $\beta$  in un range articolare "protetto" da dolore. Le afferenze A $\beta$  interpellate in queste tecniche non sono altro che i meccanoceffori articolari di tipo I (recettori di Ruffini) e di tipo II (corpuscoli di Pacini). I primi, essendo sia statici sia dinamici, scaricano anche a riposo, rimanendo attivi e rispondendo a stimoli meccanici **in ogni posizione articolare**, anche in situazioni di ROM ridotto come nel caso delle tecniche di grado I.

I secondi invece, essendo meccanoceffori dinamici, si attivano solo per brevi periodi all'inizio ed alla fine del movimento, in caso di accelerazioni e decelerazioni causati da movimenti articolari attivi e passivi; per questo motivo, sono stimolati da tecniche di mobilizzazione articolare di grado I e II, poiché si parte da un ROM iniziale fino ad arrivare ad uno intermedio, raggiunto attivamente o passivamente. Se poi, si volesse aggiungere anche il parametro della frequenza, si potrebbero applicare le tecniche di mobilizzazione articolare attiva o passiva con un grado I e/o II con **alta velocità** di esecuzione, in maniera tale da andare **ad aumentare la frequenza di scarica dei meccanoceffori in questione**, per fornire ancora di più stimoli afferenti in entrata, con l'obiettivo di scatenare tutta quella serie di reazioni neurofisiologiche e neuromodulatorie del dolore che avvengono a livello del SNC. Inoltre, viene sfruttata ancora di più la "teoria del cancello", poiché fornendo così tanti impulsi in entrata, le fibre veicolanti la nocicezione vengono inibite a livello delle corna dorsali del midollo spinale.

In caso invece di situazioni cliniche dove la rigidità articolare rappresentasse il principale impairment del paziente (ad esempio una situazione nella quale la rigidità è presente nella caviglia, con ROM limitato in dorsiflessione in assenza o con poca presenza di dolore), le tecniche di mobilizzazione articolare più adatte saranno quelle di grado III; infatti, queste tecniche stimolano i meccanoceffori di tipo III a lento adattamento, simili agli organi tendinei del Golgi. Proprio per le loro proprietà "di guardia" e di "sicurezza" a livello articolare, i meccanoceffori di tipo III si attivano ai gradi estremi delle posizioni articolari, esattamente come nel caso di mobilizzazioni di grado III e IV, che vanno verso l'end feel articolare anche in presenza di dolore; inoltre, venendo applicate a bassa frequenza, e quindi con pressioni mantenute, le tecniche di III grado sfruttano le capacità di distensione tissutale della capsula articolare, per recuperare gradi di movimento persi all'interno dell'articolazione.

### 6.3 La Terapia Manuale ed il tatto

L'importanza della terapia manuale non risiede solo nella mera erogazione di tecniche di mobilizzazione articolare o manipolazioni, ma anche nell'instaurare un rapporto fisico, comunicativo ed emotivo fra terapeuta e paziente; già per il contesto nel quale opera, il fisioterapista, oltre alle sue skills comunicative, personali e professionali, sa di avere a disposizione una grande arma a favore dell'alleanza terapeutica con il paziente, ossia il tatto. Con il tocco terapeutico, oltre a creare un rapporto empatico e relazionale con il paziente, dal punto di vista prettamente neurofisiologico il fisioterapista stimola i meccanoettori cutanei sia della pelle glabra che della pelle villosa, capaci di trasportare informazioni tattili non nocive discriminative e qualitative a livello delle corna dorsali del midollo spinale, che verranno poi veicolate ed elaborate successivamente a livello sottocorticale e corticale. L'attivazione delle fibre afferenti A $\beta$  permette di modulare a livello sottocorticale le vie nervose afferenti delle fibre A $\delta$  e C, responsabili della nocicezione; questo non fa altro che "sopprimere" lo stimolo doloroso in entrata, sostituito dallo stimolo tattile; qualsiasi esso sia, pressorio, vibratorio, di sfioramento (come, per esempio, in un massaggio), attiva i corrispettivi meccanoettori cutanei (Merkel, Ruffini, Pacini e Meissner), permettendo la trasduzione e veicolazione di impulsi tattili non nocivi a livello del SNC. Questo, oltre a consentire l'identificazione e la classificazione dello stimolo, permette in contemporanea l'attivazione di segnali neuroendocrini, che a loro volta stimolano vie dopaminergiche, il rilascio dell'ossitocina e degli oppioidi endogeni e degli endocannabinoidi, che agiscono a livello dei circuiti discendenti modulatori del dolore. (11)

Tutti questi meccanismi non fanno altro che confermare ciò che è già emerso in letteratura, ossia l'importanza dell'effetto analgesico del tocco terapeutico, con l'attiva partecipazione dei meccanoettori cutanei. (28)

## 7 Conclusioni

Oramai è riduttivo pensare alla terapia manuale come unica strategia di trattamento a disposizione del fisioterapista, quando invece, la relazione con il paziente è mediata da ben altri fattori; il rationale per l'uso della TM non è sicuramente riposizionare, riallineare, aggiustare strutture, ma sfruttare tutte le caratteristiche del  **tocco terapeutico, le proprietà delle tecniche di mobilizzazione e dei meccanoettori per dare il via a tutta una serie di reazioni neurofisiologiche capaci di aiutare il terapeuta a costruire, quando necessario, un ponte per il trattamento.**

In questa visione, si potrebbe pensare ai meccanoettori come a **degli intermediari fra stimoli esterni periferici e SNC**; son coloro che si occupano di trasdurre e trasmettere input meccanici dalla periferia al centro con determinate finalità, sia di comunicazione e di interazione con il mondo esterno, sia di modulazione interna del dolore. Inoltre, risulta evidente come sia necessaria la **collaborazione fra tutte le tipologie di meccanoettori**, cutanei, articolari e muscolari, per poter avere un chiaro quadro nella localizzazione e discriminazione degli stimoli provenienti dal mondo esterno, e per captare inoltre tutte quelle informazioni coscienti ed incoscienti che arrivano dall'interno del nostro organismo.

In clinica si potrebbero sfruttare dunque tutte le proprietà dei meccanoettori per stabilire in primis una relazione con il paziente, mediata dal  **tocco terapeutico**, in secondo luogo per impostare un trattamento manuale come **una parte della seduta** (ma non l'unica), per poter ottenere tutti quegli effetti neurofisiologici ipotizzati nel SNC.

Risulta ancora ben chiaro come siano necessari ulteriori studi per chiarire i concetti ed i processi che sottostanno alla terapia manuale, ma ciò che risulta evidente, è l'importanza dell'instaurare una relazione empatica fra terapeuta e paziente, mediata dalla comunicazione e dal tatto, gestita di volta in volta ad ogni seduta; il clinico deve essere capace di capire il paziente, capirne i suoi bisogni in quel determinato momento e capire se e quale tecnica adottare in quello specifico contesto, oltre che spronare il paziente educandolo verso un approccio attivo alla gestione della sua problematica.

## 8 Bibliografia

1. Abraira V.E., Ginty D.D., The Sensory Neuron of Touch. *Neuron* 79: 618-639 - 2013.
2. Bialosky E.J. et al. The Mechanisms of Manual Therapy in the Treatment of Musculoskeletal Pain: A Comprehensive Model. *Man Ther.* 2009 October ; 14(5): 531–538
3. Bialosky E.J. et al. Unraveling the Mechanism of Manual Therapy: Modeling an Approach. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy.* 2018- (1)48
4. Dale Purves, George J. Augustine – David Fitzpatrick – William C. Hall et al. L'organizzazione del sistema nervoso in *Neuroscienze – Quinta edizione italiana condotta sulla sesta edizione americana – Zanichelli* 2021 (1)1
5. Dale Purves, George J. Augustine – David Fitzpatrick – William C. Hall et al. Sensibilità ed elaborazione delle informazioni sensoriali- in *Neuroscienze – Quinta edizione italiana condotta sulla sesta edizione americana – Zanichelli* 2021 (2) cap 9:194-204
6. Ellenbecker T.S., Davies G.J., Bleacher J., Proprioception and Neuromuscular Control. *Physical Rehabilitation of The Injured Athlete (Fourth Edition)* 2012 – cap 24
7. Ergen Emin., Ulkar, Bülent. Proprioception and Coordination. *Clinical Sports Medicine: Medical Management and Rehabilitation* 2007; cap 18; 237-255
8. Freeman M.A.R, Wyke B. The innervation of knee joint. An anatomical and histological study in the cat. *J. Anat.* 1967. 101,3:505-532
9. French A.S., Torkkeli P.H., Mechanoreceptors. *Encyclopedia of Neuroscience.* 2009. 689:695
10. Fortier S, Basset F.A. The effects of exercise on limb proprioceptive signals. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 22 – 2012: 795-802
11. Geri T. et al. Manual Therapy: Exploiting the role of human touch. *Musculoskeletal Science and Practice* 44 2019. 102044
12. IFOMPT. OMPT Definition.
13. Johnson KO, Yoshioka T, Vega-Bermudez F. Tactile functions of mechanoreceptive afferents innervating the hand. *J Clin Neurophysiol* 2000. 17:539-558.
14. Johnson KO. The roles and functions of cutaneous mechanoreceptors. *Current Opinion in Neurobiology* 2001. 11:455-461
15. Macefield VG, Knellwolf TP. Functional properties of human muscle spindles. *J Neurophysiol* 2018. 120: 452– 467.
16. McGlone F., Reilly D., The cutaneous sensory system. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* – 2010, 34: 148-159
17. Michelson J.D., Hutchins C. Mechanoreceptors in human ankle ligaments. *The Bone & Joint Journal* 1995; 77-B:219-24
18. Mildren L.R. et al. Vibrotactile stimulation of fast-adapting cutaneous afferents from the foot modulates proprioception at the ankle joint. *J Appl Physiol* 2016. 120: 855-864
19. Mildren L.R., Hare C.M., Bent L.R. Cutaneous afferent feedback from the posterior ankle contributes to proprioception. *Neuroscience Letters* 2017. 636:145-150
20. Moraes et al. Histomorphometric Evaluation of Mechanoreceptors and Free Nerve Endings in Human Lateral Ankle Ligaments. *Foot & Ankle International* 2008. Vol.29. No.1:87-90
21. Proske U, Gandevia S.C. The Proprioceptive Senses: Their Roles in Signaling Body Shape, Body Position and Movement, and Muscle Force. *Physiol Rev* 2012. 92: 1651–1697
22. Proske U, Gandevia S.C. The kinaesthetic senses. *J Physiol* 587.17 – 2009: 4139–4146

23. Proske U. A reassessment of the role of joint receptors in human position sense. *Experimental Brain Research* 2023. 241:943–949
24. Rein et al. Comparative Analysis of Inter- and Intra-ligamentous Distribution of Sensory Nerve Endings in Ankle Ligaments: A Cadaver Study. *Foot and Ankle International* 2013. 34(7);1017-1024
25. Riemann L.B., Lephart M.S. The sensorimotor System, Part 1: The Physiologic Basis of Functional Joint Stability. *Journal of Athletic Training*. 2002;37(1):71-79.
26. Riemann L.B., Lephart M.S. The Sensorimotor System, Part II: The Role of Proprioception in Motor Control and Functional Joint Stability. *Journal of Athletic Training*. 2002;37(1):80–84
27. Strzalkowski ND., Peters RM., Inglis JT., Bent LR. Cutaneous afferent innervation of the human foot sole: what can we learn from single-unit recordings? *J Neurophysiol* 2018. 120: 1233-1246.
28. Vigotsky A.D, Bruhns R.P. The Role of Descending Modulation in Manual Therapy and Its Analgesic Implication: A Narrative Review. *Pain Research and Treatment*. 2015
29. Wyke B. The Neurology of Joints: A review of General Principles. *Clinics in Rheumatic Disease – Vol 7. No1, April 1981*
30. Wyke B. Articular Neurology – A review. *Physiotherapy*. Vol. 58, #3, March 12, 1972: 94-99
31. Wal der Van., Jaap C., Proprioception. *Fascia: The Tensional Network of The Human Body*. 2012. Cap2:81-87
32. Wistar Institute of Anatomy and Biology. Mechanoreceptors in articular tissues. *American Journal of Anatomy* 1988; 182:16-32
33. Xue X, Ma T, Li Q, Song Y, Hua Y. Chronic ankle instability is associated with proprioception deficits: a systematic review and metanalysis. *J Sport Health Sci* 2021; 10: 182-191
34. Zimmermann A., Bai L., Ginty D.D. The gentle touch receptors of mammalian skin. *Science* 2014, 346: 950-954