



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di PSICOLOGIA GENERALE

Corso di laurea magistrale in Psicologia Clinica

Tesi di laurea magistrale

**Gli aspetti di propiocezione: un compito di discriminazione della tensione
muscolare**

Proprioceptive aspects: a muscular tension discrimination test

Relatrice

Dott.ssa Elisabetta Patron

Laureanda: Emanuela D'Aversa

Matricola: 2021082

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

INTRODUZIONE.....	4
CAPITOLO 1	
1.1. Il processo di percezione: la multisensorialità.....	6
1.2. Un “sesto senso”: la propriocezione.....	8
1.3. Il ruolo delle fibre somatosensitive periferiche.....	13
1.4. Le vie della sensibilità.....	21
1.5. I propriocettori.....	23
1.5.1. I fusi neuromuscolari.....	24
1.5.2. Gli organi tendinei del Golgi.....	27
1.6. I percorsi propriocettivi: la via conscia e la via inconscia.....	29
CAPITOLO 2	
2.1. La propriocezione e il controllo posturale.....	37
2.2. La propriocezione e il controllo motorio.....	39
2.3. La compromissione della propriocezione: le implicazioni cliniche.....	41
2.4. La valutazione della propriocezione.....	53
CAPITOLO 3: La ricerca	
3.1. Introduzione.....	64
3.2. Metodo.....	65
3.2.1. I partecipanti.....	65
3.2.2. Materiali.....	67
3.3. Procedura.....	72
3.4. Riduzione dei dati e analisi statistiche.....	73

CAPITOLO 4: Risultati.....	76
CAPITOLO 5: Discussione.....	81
CONCLUSIONI.....	85
BIBLIOGRAFIA.....	86

INTRODUZIONE

L'esperienza percettiva è stata, sin dai tempi più antichi, argomento di interesse e di studio, infatti, è proprio a partire dalla percezione e i nostri sensi che pensiamo, conosciamo, esploriamo la realtà: il nostro senso del sé, lo strumento necessario al fine di comprendere l'esistenza, origina e termina con l'esperienza percettiva. Se i filosofi dell'antica Grecia ritenevano che l'esperienza sensoriale fosse mediata dai classici cinque organi di senso, ad oggi, sappiamo di avere a disposizione un "sesto senso", la somatosensazione, sfaccettata e composta da diverse sottocategorie, tra cui la propriocezione, oggetto della presente trattazione. Anche la propriocezione comprende diverse submodalità, tra cui la tensione muscolare, focus dell'elaborato. L'analisi e l'approfondimento dell'aspetto propriocettivo di tensione muscolare muove da una scarsa conoscenza dell'argomento emersa della letteratura; infatti, sembra che la propriocezione non sia stata studiata nello specifico sotto tutti i punti di vista.

Partendo da questi presupposti, attraverso il primo capitolo verranno ampiamente descritte le submodalità propriocettive, i recettori da cui principalmente originano le informazioni sensoriali di tipo propriocettivo – i propriocettori – ossia i fusi neuromuscolari e gli organi tendinei del Golgi e i percorsi neuronali che convogliano informazioni di natura propriocettiva dalla periferia al sistema nervoso centrale.

Nel secondo capitolo verrà presentato il ruolo che la propriocezione svolge nel controllo motorio e posturale e, successivamente, verrà fornita una panoramica rispetto alle implicazioni cliniche della compromissione delle capacità propriocettive e alle modalità di valutazione proposte dalla letteratura per le diverse componenti della propriocezione.

A seguito di questa prima parte di inquadramento teorico, si proseguirà in una parte più sperimentale dedicata alla presentazione della ricerca condotta per questo elaborato e ai risultati. Nello specifico, con il terzo capitolo si entra nel vivo della ricerca con la presentazione degli obiettivi che l'hanno guidata, in particolare: riprodurre un compito psicofisiologico di discriminazione della tensione muscolare proposto negli anni '90 da Flor e colleghi, valutare come un gruppo di controlli sani (universitari) discrimina la tensione muscolare, indagare la possibile associazione tra indici soggettivi di propriocezione e aspetti di ansia, stress, depressione e disregolazione emozionale. Verranno esposti i dettagli relativi al contesto in cui la ricerca è stata svolta, ai

partecipanti, agli strumenti utilizzati. I risultati della ricerca verranno presentati nel quarto capitolo e discussi nel capitolo quinto.

Infine, le conclusioni presenteranno un riepilogo di quanto emerso dal presente elaborato, esponendo i limiti dello studio e indicando quali potrebbero essere le prospettive future di ricerca.

CAPITOLO 1

1.1 Il processo di percezione: la multisensorialità

“Noi non siamo altro che fasci o collezioni di differenti percezioni che si susseguono con una inconcepibile rapidità, in un perpetuo flusso e movimento. I nostri occhi non possono girare nelle loro orbite senza variare le nostre percezioni. Il nostro pensiero è ancora più variabile della nostra vista, e tutti gli altri sensi e facoltà contribuiscono a questo cambiamento. [...] La mente è una specie di teatro, dove le diverse percezioni fanno la loro apparizione, passano e ripassano, scivolano e si mescolano con un'infinita varietà di atteggiamenti e di situazioni.” (Hume, 2008)

Il processo percettivo prende inizio a livello di cellule recettrici che “sono sensibili a un particolare tipo di energia degli stimoli” (Kandel, Schwartz & Jessell, 2014, p.445). Per la maggior parte, le sensazioni vengono identificate con particolari stimoli: ad esempio, un raggio di luce con una lunghezza d'onda relativamente breve che colpisce la retina viene percepito come blu, mentre lo zucchero e il sale vengono percepiti rispettivamente come dolce e salato sulla lingua. Infatti, è la psicofisica quella branca di studi che si occupa di stabilire delle correlazioni quantitative tra le caratteristiche degli stimoli fisici e le sensazioni soggettive da essi evocate. Altre informazioni relativamente al processo di percezione sono state ottenute approfondendo lo studio dei diversi recettori sensoriali, degli stimoli a cui sono in grado di rispondere i vari recettori e delle vie sensoriali che ritrasmettono le informazioni dai recettori alla corteccia cerebrale. Infatti, le cellule specifiche dei sistemi sensoriali, sia che si tratti di recettori periferici sia che si tratti di neuroni del sistema nervoso centrale, codificano alcune particolari caratteristiche delle sensazioni, ad esempio la sede dello stimolo e la sua intensità.

Ogni modalità sensoriale è mediata da un sistema neurale differente che è costituito da un insieme di elementi che contribuiscono alla percezione. Infatti, i sistemi sensoriali sono composti da neuroni che connettono i recettori localizzati in periferia con il midollo spinale, il tronco dell'encefalo, il talamo e la corteccia cerebrale (Kandel et al., 2014). Contrariamente a ciò che si può pensare analizzando intuitivamente la nostra personale esperienza, le percezioni non sono delle semplici copie del mondo in cui siamo immersi

e che ci circonda. I sistemi sensoriali, in ogni istante, dispongono di informazioni imperfette e incomplete e i sistemi percettivi sono organizzati in modo da poter fare inferenze sugli eventi che accadono nel mondo. In quest'ottica, i dati sensoriali ci forniscono delle indicazioni, piuttosto che delle risposte certe: il cervello utilizza le informazioni come base per la formulazione di ipotesi, inferenze percettive sullo stato del mondo.

La natura dell'esperienza sensoriale è stata sin dai tempi più antichi un grande interrogativo degli uomini e già nel IV secolo a.C. il filosofo greco Aristotele era giunto alla conclusione che esistessero solo cinque sensi, cioè la visione, l'udito, il tatto, il gusto, l'olfatto, ognuno in rapporto con gli specifici organi di senso del nostro corpo: gli occhi, l'orecchio, la cute, la lingua, il naso (Kandel et al., 2014). Aristotele, dunque, escludeva espressamente l'esistenza di un sesto senso, quello che nel complesso noi oggi chiameremmo "somatosensazione" (vedi Figura 1.1) e che comprende diverse sottocategorie:

- la meccanocezione (le sensazioni somatiche di vibrazione, pressione, tocco discriminatorio);
- la termocezione (la sensazione somatica della temperatura corporea);
- la nocicezione (la sensazione di dolore);
- l'equilibriocezione (le sensazioni vestibolari dell'equilibrio, tra cui la posizione del corpo all'interno del campo gravitazionale e del movimento del capo);
- la propiocezione (il senso di posizionamento e movimento) (Mukhopadhyay, 2021).



Figura 1.1 Rappresentazione del sistema sensoriale multimodale. Oltre ai cinque “classici” sensi, troviamo anche il “sesto senso”, che complessivamente potremmo definire “somatosensazione”. Questo comprende la termocezione, la nocicezione, l’equilibriocezione, la meccanocezione e la propiocezione. Mukhopadhyay, 2021.

La presente trattazione porrà il focus sugli aspetti di propiocezione, con l’obiettivo di descrivere approfonditamente le diverse submodalità di cui la propiocezione si compone, attenzionando anche i circuiti cerebrali e neurali coinvolti in tale modalità somatosensoriale.

1.2 Un “sesto senso”: la propiocezione

Lo studioso Charles Bell si interrogò su ulteriori scopi dei muscoli oltre alla semplice contrazione sotto l’impulso dei nervi motori; a seguito delle sue ricerche, Bell concluse affermando che siamo in grado di percepire i più piccoli cambiamenti dello sforzo muscolare, grazie ai quali veniamo costantemente informati circa la posizione del nostro corpo e dei nostri arti, specialmente nel caso in cui non disponiamo di altri mezzi di conoscenza (Proske & Gandevia, 2012). Fu proprio Charles Bell, nel 1830, a descrivere

per la prima volta la propiocezione, definendola come il “sesto senso” (Vega & Cobo, 2021). Etimologicamente, la parola propiocezione deriva dalla parola latina “proprius” che significa “proprio”, dunque, letteralmente può essere tradotta come “percezione del proprio sé”; pertanto, la propiocezione è generalmente definita come il senso della posizione o il movimento degli arti e del corpo, senza visione (Gilman, 2002). Mentre la posizione degli arti è un senso che possiamo definire statico, il movimento degli arti è caratterizzato da dinamicità, per cui è un senso dinamico (Weeks, Therrien & Bastian, 2017). La propiocezione viene descritta come la modalità sensoriale più importante per la rappresentazione interna della mappa corporea, poiché fornisce informazioni circa i sistemi propriocettivi statici e dinamici (Cignetti, Caudron, Vaugoyeau & Assaiante, 2013).

Inoltre, fu proprio Charles Bell il primo a distinguere i nervi motori dai sensitivi (Tuthill & Azim, 2018). Alcuni fisiologi tedeschi dell’epoca sostenevano che il “sesto senso” fosse di origine puramente centrale, per cui, dal loro punto di vista era il cervello a monitorare la posizione del corpo attraverso una precisa gamma di comandi motori, mentre Bell aveva ipotizzato che i segnali fossero di origine sia periferica che centrale.

Alla fine del XIX e all'inizio del XX secolo, Charles Sherrington ha fornito prove definitive a favore dell’esistenza di una fonte periferica di afferenze sensoriali e della loro influenza sulla contrazione muscolare. Il termine propiocezione è stato introdotto e coniato nel 1906 da Charles Sherrington che ha definito la propiocezione come la sensazione di stimoli riconducibili alle azioni dell’organismo stesso. In questo modo ha distinto questa modalità sensoriale da quelle che ha definito “esterocezione” ed “enterocezione”, della quale fanno parte i segnali sensoriali originati dagli organi interni, come l’intestino. Sebbene Kühne, Ruffini e altri avessero descritto gli organi propriocettori molti anni prima, fu Charles Sherrington il primo a dimostrare che i neuroni sensoriali che innervano questi organi propriocettivi hanno un’influenza sul controllo del movimento e sulla postura (Tuthill & Azim, 2018).

Il termine propiocezione riguarda le informazioni sensoriali che contribuiscono al senso della posizione del sé. È opportuno, però, fare una specifica relativamente ad una sottile differenza che intercorre tra “propriocezione” e “cinestesi”, la quale si riferisce al senso del movimento. Il termine cinestesi è stato coniato da Henry Bastian e si riferisce alla sensazione corporea direttamente causata dalla cinestesi del movimento (Jha,

Ahamad, Khurana, Ali, Verma & Kumar, 2017). In quest'ottica, dunque, la propriocezione è considerata una funzione automatica e inconscia, mentre la cinestesi è considerata come una funzione cosciente.

Kröger & Watkins (2021) dichiaravano che le informazioni di natura propriocettiva ci danno informazioni circa lo stato di contrazione e di movimento muscolare, sulla forza, la pesantezza, la rigidità e lo sforzo dei muscoli; dunque, sono imprescindibili per lo svolgimento di qualsiasi movimento coordinato, per il mantenimento di una postura stabile e un'andatura normale. Questa informazione giunge al sistema nervoso centrale, ma a differenza di altre componenti della somatosensibilità, ad oggi, sappiamo che gran parte del senso propriocettivo non raggiunge la coscienza. È, dunque, opportuno differenziare i due concetti, poiché le parole cinestesia e propriocezione sono spesso usate in modo intercambiabile, ma impreciso poiché mentre la cinestesia è la consapevolezza di come il corpo si muove nello spazio, la propriocezione comprende ogni informazione posturale, posizionale, cinetica che i recettori sensoriali localizzati nei muscoli, nei tendini, nelle articolazioni e nella pelle ricevono dal sistema nervoso centrale (Mukhopadhyay, 2021).

La conoscenza precisa delle vie della propriocezione, in particolare quelle di propriocezione cosciente, è di grande interesse per comprendere meglio questo senso. Secondo Proske e Gandevia (2012) il senso di propriocezione si genera dall'insieme di input sensoriali periferici che informano sul grado e sulle variazioni della lunghezza e della tensione muscolare, sull'allungamento dei muscoli e della pelle e sugli angoli articolari (Proske & Gandevia, 2012). Effettivamente, la corretta definizione di propriocezione coniata da Sherrington nel 1906, secondo cui nella ricettività muscolare è il corpo stesso ad agire come stimolo per i propri recettori (Vega & Cobo, 2021), suggerisce che il corpo contiene diversi tipi di propriocettori. La propriocezione comprende (vedi Figura 1.2), dunque:

- Il senso di posizione delle articolazioni (attivo/passivo);
- La “*kinesthesia*” (Hung, 2015), ossia la cinestesia o il senso del movimento, definita come la consapevolezza del movimento del corpo umano. Il senso del movimento si riferisce alla capacità di percepire il movimento articolare, inclusa la durata, la direzione, l'ampiezza, la velocità, l'accelerazione e il tempo dei movimenti (Shakoor, Agrawal & Block, 2008; Mukhopadhyay, 2021);

- Il “*senso di forza*” – in inglese Sense of Force, SoF – (Ager et al., 2020) è anche conosciuto come senso di sforzo/pesantezza/tensione. Fa riferimento alla capacità di riprodurre un livello di forza desiderato una o più volte. È stato ipotizzato che la forza derivi dal feedback afferente degli organi tendinei del Golgi localizzati nei nostri tendini, dai fusi muscolari all'interno dei nostri muscoli e dai segnali propriocettivi derivanti dall'interno della nostra pelle;
- Il “*senso di cambiamento di velocità*” – “SCV” – (Blanche, Bodison, Chang, Reinoso, 2012) è la capacità di rilevare le vibrazioni, causate da oggetti oscillanti posti a contatto con la pelle.

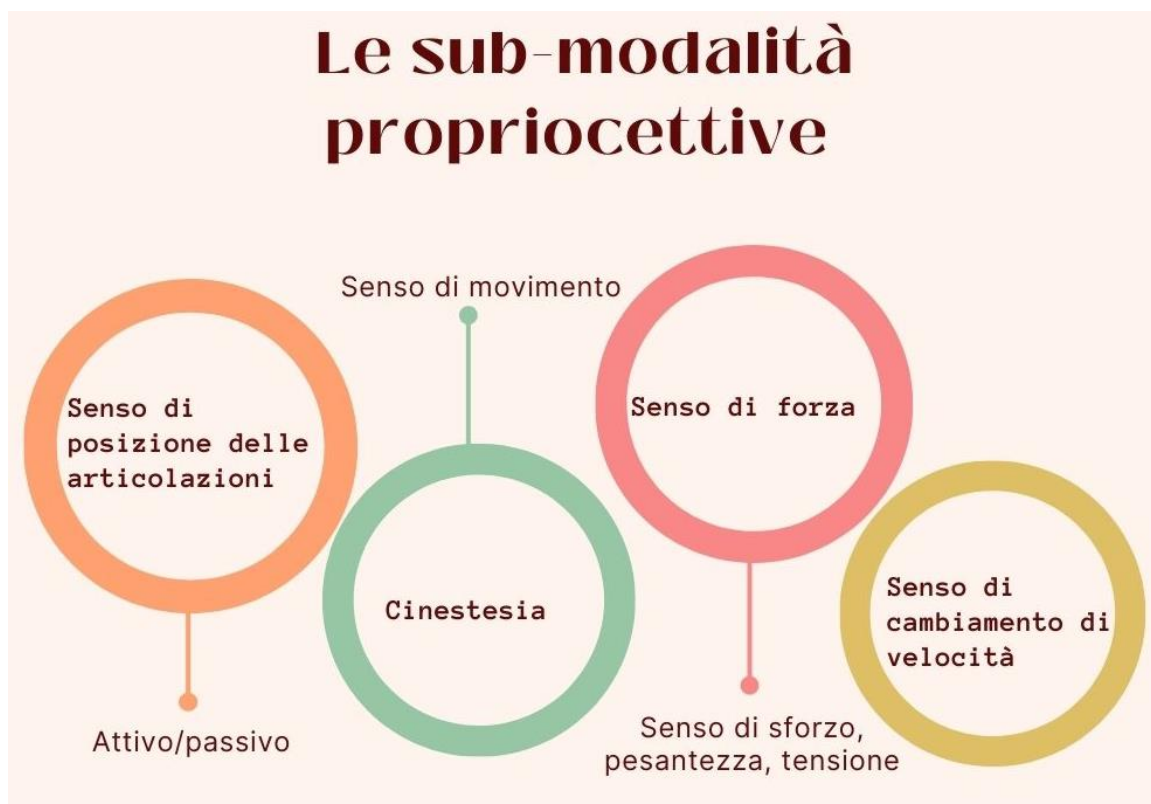


Figura 1.2 Le submodalità propriocettive. (Mukhopadhyay, 2021)

I recettori, svolgono un ruolo molto importante nell'esperienza sensoriale, perché è a partire dalla stimolazione delle cellule recettoriali disposte in particolari sedi corporee che origina l'attività nervosa e, quindi, l'esperienza sensoriale. Il feedback di ogni componente sensoriale deriva dal nostro sistema nervoso periferico, per poi fornire informazioni al nostro sistema nervoso centrale, sia a livello del midollo spinale sia a livello della corteccia cerebrale, per un'elaborazione più elevata (Gilman, 2002, citato da

Mukhopadhyay, 2021). Infatti, i recettori forniscono la prima rappresentazione nervosa del mondo esterno; successivamente, queste informazioni giungono alle regioni del sistema nervoso centrale implicate nei processi cognitivi. Le informazioni vengono trasformate da semplici a complesse lungo le vie sensoriali, facendo da fondamento ai processi cognitivi. I centri cerebrali superiori modificano e modellano il flusso dei segnali sensoriali afferenti inviando informazioni, tramite meccanismi a feedback, ai livelli inferiori di elaborazione, per cui le percezioni sono modellate sia da fattori ambientali sia da fattori interni. È bene ricordare che la maggior parte dei recettori è selettiva in modo ottimale per un unico tipo di energia dello stimolo e questa caratteristica conferisce al recettore una particolare proprietà, ossia un'elevata specificità. Il tipo di stimolo rilevato da un neurone sensitivo dipende dalla particolare classe di recettori espressi a livello delle sue terminazioni. I recettori sensoriali dell'uomo vengono classificati in meccanocettori, propriocettori, chemocettori, fotorecettori e termocettori (Kandel et al., 2014). Nella tabella che segue (vedi Tabella 1.1) viene descritto il sistema sensoriale somatosensitivo di cui fa parte la propriocezione, per evidenziare come ogni modalità sensoriale specifica abbia la propria classe di recettori che risponde ad un particolare tipo di energia dello stimolo.

Sistema sensoriale	Modalità	Energie dello stimolo	Classe di recettori	Tipo di recettore (*)
Somatosensitivo	Sensazioni somatiche:			Neuroni dei gangli delle radici dorsali
	Tatto	Pressione	Meccanocettori	Meccanocettori cutanei
	Propriocezione	Cambiamento degli angoli articolari	Propriocettori	Recettori muscolari e articolari
	Senso termico	Termica	Termocettori	Recettori per il freddo e il caldo
	Dolore	Chimica, termica o meccanica	Chemocettori, termocettori o meccanocettori	Nocicettori polimodali, termici e meccanici

	Prurito	Chimica	Chemocettori	Nocicettori chimici
--	---------	---------	--------------	---------------------

Tabella 1.1 Sistemi e modalità sensoriali (Kandel et al., 2014)

() I vari tipi di recettori sono ulteriormente suddivisibili e costituiscono la base cellulare delle diverse submodalità.*

1.3 Il ruolo delle fibre somatosensitive periferiche

Le diverse modalità della sensibilità somatica sono mediate da fibre nervose periferiche che si differenziano per diametro e velocità di conduzione (Kandel et al., 2014). Nello specifico, i meccanocettori per il tatto e la propriocezione sono innervati da neuroni dei gangli delle radici dorsali dotati di assoni mielinici di grande diametro che conducono potenziali d'azione a elevata velocità, mentre, i recettori termici, i nocicettori e gli altri chemorecettori possiedono fibre mieliniche o amieliniche di piccolo diametro che conducono gli impulsi a velocità più basse (Kandel et al., 2014). Per via di queste differenze nella velocità di conduzione i segnali provenienti dai recettori tattili e propriocettori raggiungono il midollo spinale e i centri cerebrali superiori più velocemente di quelli provenienti dai nocicettori e dai recettori termici.

Le fibre nervose periferiche vengono classificate in più gruppi funzionali prendendo in considerazione il loro diametro il grado di mielinizzazione, e in base alla velocità di conduzione e alla loro natura di fibre sensitive o motorie. Il primo sistema di classificazione è stato messo a punto nel 1894 da Charles Sherrington, che riuscì a misurare il diametro degli assoni mielinici dei nervi sensitivi, ed è successivamente stato codificato da David Lloyd (Kandel et al., 2014). Quando parliamo di nervi muscolari, è, però, essenziale da un punto di vista funzionale, fare una precisa classificazione anatomica (vedi Tabella 1.2). Si distinguono (vedi Figura 1.3):

- le fibre di gruppo I che innervano i recettori dei fusi neuromuscolari e degli organi tendinei del Golgi, i quali forniscono informazioni sulla lunghezza dei muscoli e sulla loro forza di contrazione (Kandel et al., 2014);
- le fibre di gruppo II che innervano le terminazioni secondarie del fuso neuromuscolare e i recettori delle capsule articolari e anche questi mediano la propriocezione (Kandel et al., 2014);

- le fibre di gruppo III, ossia le fibre afferenti muscolari mieliniche di minor diametro e le fibre afferenti amieliniche, di gruppo IV le quali segnalano alterazioni patologiche dei muscoli e delle articolazioni che possono essere avvertite come dolorose (Kandel et al., 2014).

	Nervo muscolare	Nervo cutaneo (*)	Dimetro delle fibre (µm)	Velocità della conduzione (m/s)
Fibre mieliniche di grande diametro	I	A α	12-20	72-120
Fibre mieliniche di diametro intermedio	II	A β	6-12	36-72
Fibre mieliniche di piccolo diametro	III	A δ	1-6	4-36
Fibre amieliniche	IV	C	0,2-1,5	0,4-2

Tabella 1.2 Classificazione delle fibre sensitive dei nervi periferici (Kandel et al., 2014)

() Le fibre sensitive dei nervi muscolari vengono classificati in base al loro diametro, mentre le fibre sensitive dei nervi cutanei vengono classificati sulla base della loro velocità di conduzione.*

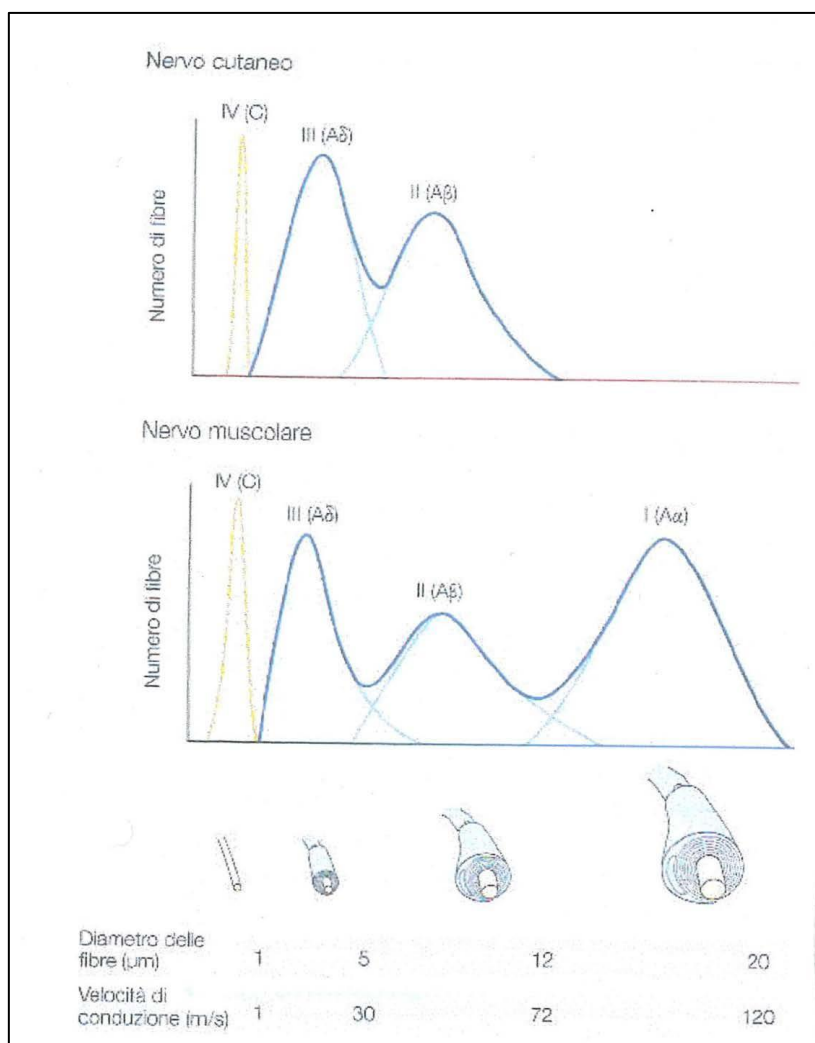


Figura 1.3 I nervi periferici che innervano i muscoli scheletrici contengono diversi tipi di fibre nervose sensitive: i grafici illustrano la distribuzione dei quattro gruppi di fibre nervose sensitive. Le fibre di ciascun gruppo hanno un diametro e una velocità di conduzione caratteristici come mostrato dalla figura. Le linee in blu scuro in figura rappresentano la somma delle fibre di ciascun gruppo nelle zone in cui i diametri di due gruppi di fibre di sovrappongono. La velocità di conduzione delle fibre periferiche mieliniche è circa uguale a sei volte il loro diametro (Kandel et al., 2014).

Un altro metodo di classificazione delle fibre nervose periferiche si basa sui risultati della stimolazione elettrica di un intero nervo (vedi Figura 1.4). Quando vi è una stimolazione a bassa intensità, vengono reclutate le fibre di gruppo I e i motoneuroni che innervano i muscoli scheletrici e viene generato un segnale, denominato “onda Aα” (Kandel et al., 2014). La sensazione destata da questi stimoli è appena avvertibile e viene riferita a livello

della regione innervata. Un secondo segnale, “l’onda A β ” (Kandel et al., 2014), compare quando vengono reclutate più fibre di grande diametro. Questa componente corrisponde alle fibre di gruppo II dei nervi cutanei e muscolari e diventa più ampia all’aumentare dell’intensità della stimolazione. Con stimoli ancor più intensi, quando vengono reclutate le fibre di minore diametro del “gruppo A δ ” (Kandel et al., 2014), lo stimolo viene avvertito come doloroso. Stimoli di intensità abbastanza elevata da attivare le “fibre amieliniche C” evocano sensazioni di dolore urente (Kandel et al., 2014).

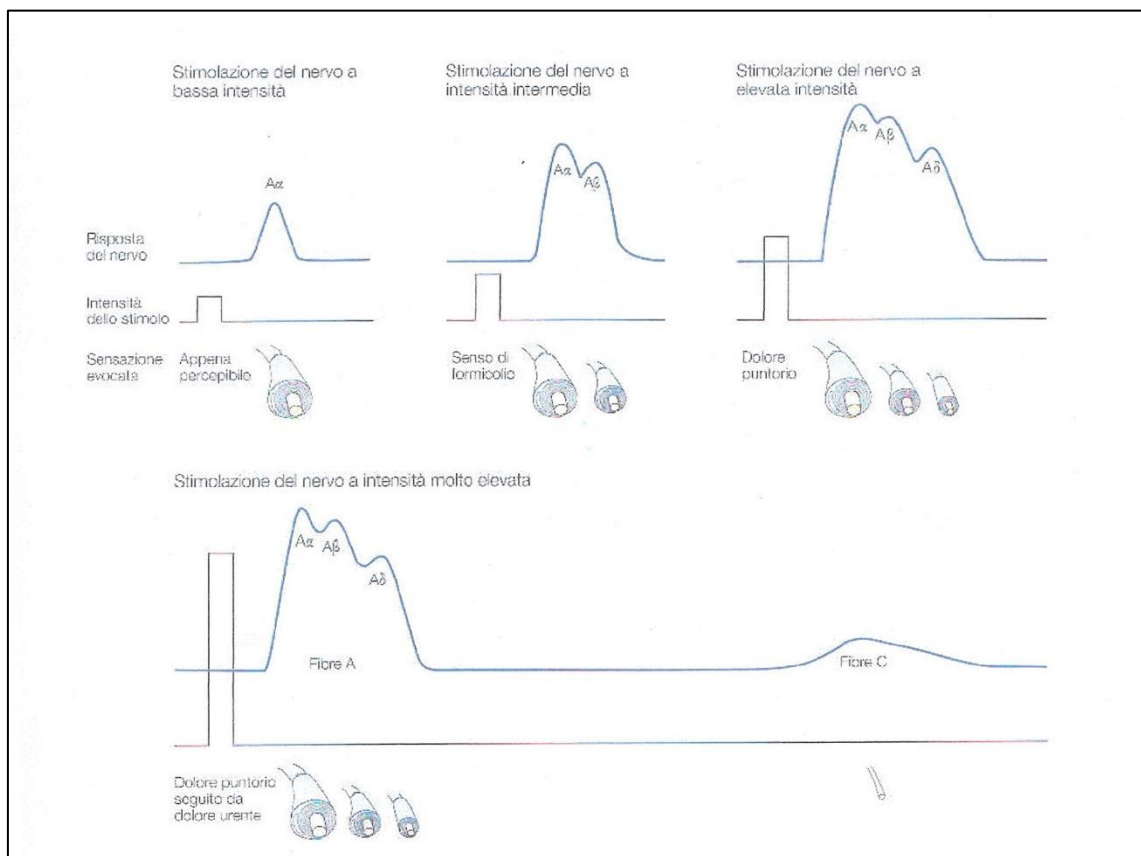


Figura 1.4 Classificazione delle fibre nervose periferiche sulla base della stimolazione elettrica di un intero nervo. La stimolazione elettrica di un nervo periferico a intensità diverse attiva diversi tipi di fibre nervose. I potenziali d’azione di tutte le fibre nervose stimulate da una particolare intensità di corrente si sommano fra loro e generano il potenziale d’azione composto. Per via delle differenti velocità di conduzione delle varie classi di fibre sensitive e motorie, nel potenziale d’azione composto sono rilevabili più deflessioni (Kandel et al., 2014).

Queste conoscenze sulla distribuzione delle velocità di conduzione delle fibre afferenti dei nervi periferici vengono sfruttate in ambito clinico per diagnosticare delle condizioni che provocano degenerazione di fibre sensitive o perdita di motoneuroni. Tra queste troviamo la neuropatia diabetica (van Deursen, Sanchez, Ulbrecht & Cavanagh, 1998), in cui si assiste ad un rallentamento della velocità di conduzione e una corrispondente diminuzione delle capacità sensitive. Dunque, un'elevata velocità di conduzione delle fibre nervose periferiche permette di fornire tempestivamente un segnale di feedback che è essenziale, ad esempio, per il controllo motorio. Le fibre a maggior velocità di conduzione sono le fibre afferenti dai muscoli, che segnalano la lunghezza dei muscoli e la velocità e la forza della loro contrazione. Ne consegue che un ritardo nei segnali a feedback provocherebbe instabilità motoria: questo è il motivo per cui le fibre che innervano i fusi neuromuscolari sono quelle che, tra le fibre periferiche, hanno il diametro più grande. Come detto in precedenza, i recettori sono caratterizzati da un'elevata specificità per gli stimoli e, in particolare, il sistema somatosensitivo utilizza molti recettori specializzati. Le fibre periferiche dei neuroni sensitivi (vedi Figura 1.5) che mediano il tatto e la propriocezione terminano a livello di una capsula di natura non nervosa. Queste fibre rilevano gli stimoli meccanici che in un certo modo deformano fisicamente la superficie del recettore. Quando un recettore somatico viene attivato da uno stimolo appropriato, la terminazione del neurone sensitivo si depolarizza; gli stimoli che possiedono un'adeguata intensità producono dei potenziali d'azione che si propagano attraverso le branche centrali e periferiche della fibra giungendo al midollo spinale o al tronco dell'encefalo (Kandel et al., 2014).

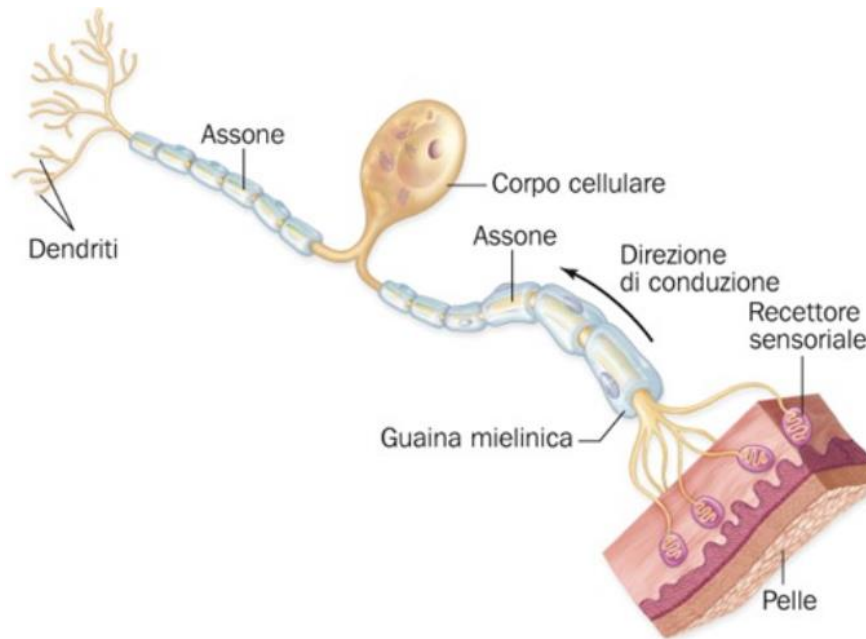


Figura 1.5 Rappresentazione di un neurone sensoriale, che trasporta gli impulsi dai recettori sensoriali al sistema nervoso centrale. In figura vediamo la localizzazione del recettore sensoriale, in questo caso a livello della pelle, da dove il segnale viene condotto per giungere, infine, al sistema nervoso centrale (Mader, 2018).

Pertanto, vi sono tanti diversi tipi di recettori morfologicamente specializzati quante sono le submodalità somatosensitive e, inoltre, ognuna di queste si propaga lungo un certo gruppo di fibre. Tra questi recettori (vedi Tabella 1.3 e Figura 1.6) troviamo i meccanocettori cutanei e sottocutanei, ossia i corpuscoli di Meissner, i recettori di Merkel, i corpuscoli del Pacini e di Ruffini, i quali sono rispettivamente coinvolti nel tatto, nello strofinamento, nella pressione, nella vibrazione e nella deformazione della cute. Troviamo, poi, i termocettori (recettori per il freddo e per il caldo) coinvolti nella sensibilità termica e i nocicettori (meccanici e termo-meccanici) che mediano le sensazioni di dolore. Infine, c'è la classe di meccanocettori muscolari e scheletrici che si occupano della propriocezione e che verrà approfondita in seguito nella presente trattazione.

Tipo di recettore	Gruppo di fibre	Nome delle fibre	Modalità
MECCANOCETTORI CUTANEI E SOTTOCUTANEI			Tatto
Corpuscolo dei Meissner	A α , β	RA1	Strofinamento, tremolio
Recettore di Merkel	A α , β	LA1	Pressione, caratteristiche della superficie degli oggetti
Corpuscolo del Pacini	A α , β	RA2	Vibrazione
Corpuscolo di Ruffini	A α , β	LA2	Deformazione della cute
TERMOCETTORI			Sensibilità termica
Recettori per il freddo	A δ	III	Raffreddamento della cute
Recettori per il caldo	C	IV	Riscaldamento della cute
NOCICETTORI			Dolore
Meccanici	A δ	III	Dolore puntorio, acuto
Termo-meccanici (caldo intenso)	A δ	III	Dolore urente
Termo-meccanici (freddo intenso)	C	IV	Dolore da freddo intenso
Polimodali	C	IV	Dolore urente, lento
MECCANOCETTORI MUSCOLARI E SCHELETRICI			Propriocezione degli arti
Terminazioni fusali primarie	A α	Ia	Lunghezza e velocità di allungamento dei muscoli
Terminazioni fusali secondarie	A β	II	Stiramento dei muscoli
Organo tendineo del Golgi	A α	Ib	Contrazione dei muscoli
Recettori delle capsule articolari	A β	II	Angoli articolari
Terminazioni nervose libere sensibili allo stiramento	A δ	III	Stiramenti o forze eccessive

Tabella 1.3 Alcuni tipi di recettori che mediano la sensibilità somatica (Kandel et al., 2014).

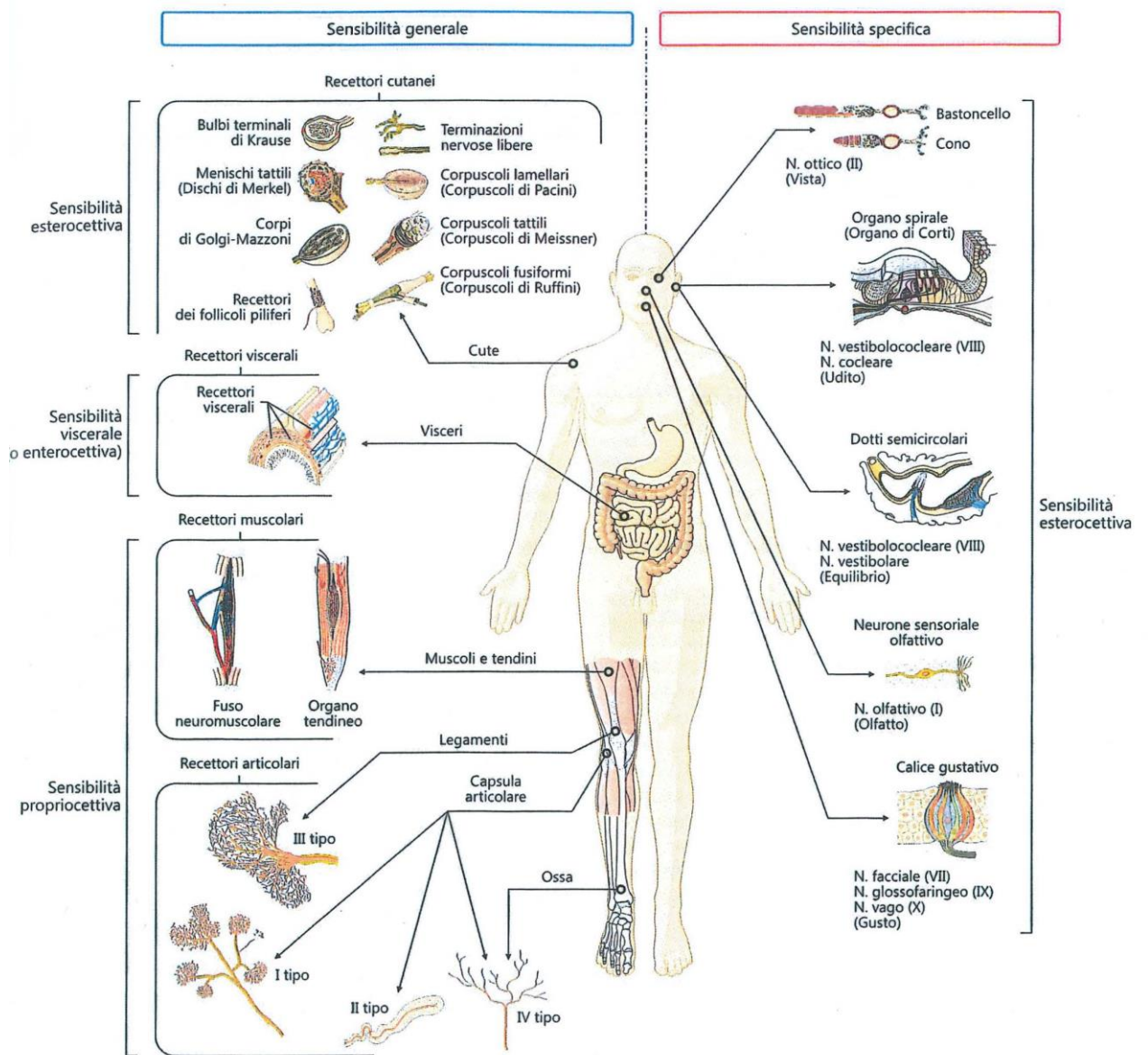


Figura 1.6 In figura sono mostrati i recettori della sensibilità generale, disposti ubiquitariamente in tutto l'organismo, e i recettori della sensibilità specifica, disposti invece in organi ben definiti (Anastasi et al., 2020).

1.4 Le vie della sensibilità

Nello specifico, le vie della sensibilità (vedi Figura 1.7) si distinguono in “vie della sensibilità generale” e “vie della sensibilità specifica” (Anastasi et al., 2020).

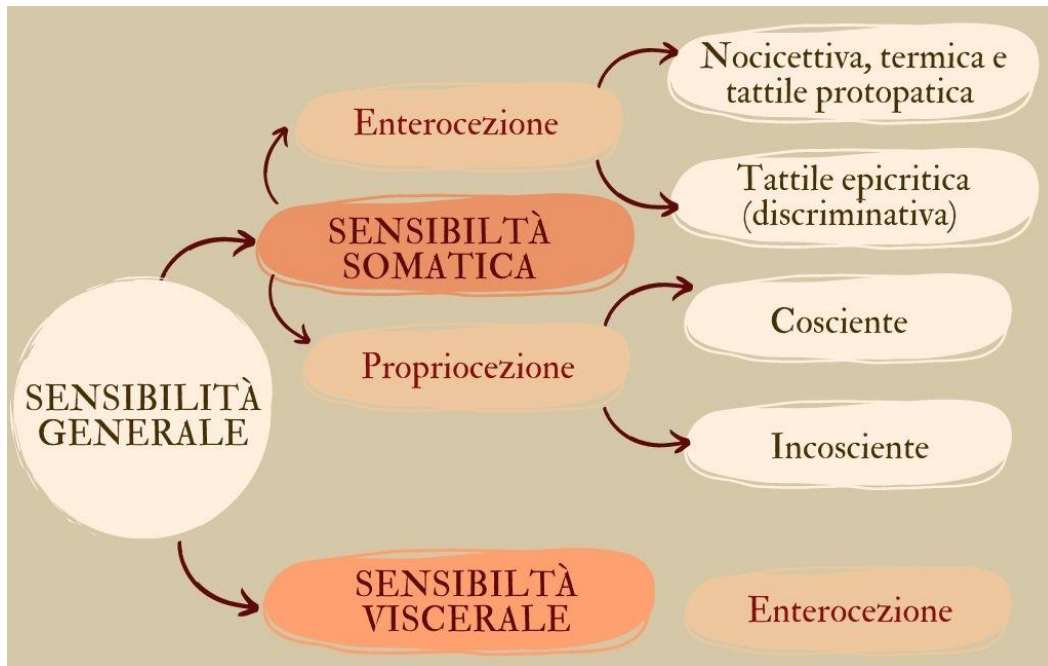


Figura 1.7 Le vie della sensibilità e le submodalità esteroceettive e propriocettive (Anastasi et al., 2020)

Le vie della sensibilità generale originano da recettori disposti, ubiquitariamente, in tutto il corpo umano, ma con diversa densità in diversi territori. La sensibilità generale comprende sia la sensibilità somatica, di cui fanno parte la propriocezione e l'esterocezione, sia la sensibilità viscerale, che comprende l'enterocezione. Le vie della sensibilità specifica sono quelle i cui recettori sono localizzati in segmenti delimitati del corpo umano, ossia gli organi di senso (ad esempio, occhio, naso, orecchio interno). Come detto, le vie della sensibilità generale si distinguono, a loro volta, in vie esteroceettive, vie propriocettive e vie enteroceettive:

- Le vie della sensibilità esteroceettiva sono quelle i cui recettori sono localizzati nella cute e nelle mucose esterne, dunque, nel contesto di strutture derivate

dall'ectoderma¹ (Anastasi et al., 2020). L'esterocezione concerne il senso di interazione diretta con il mondo esterno, quando questo entra in contatto con il corpo. La principale modalità dell'esterocezione è il senso del tatto, che comprende le sensazioni di contatto, pressione, strofinamento, movimento e vibrazione e viene usato per l'identificazione degli oggetti. L'esterocezione comprende anche i sensi termici del caldo e del freddo, così come il senso del dolore, o nocicezione, che consiste in una risposta a eventi esterni che recano un danno all'organismo.

I meccanocettori dai quali originano le informazioni sensoriali di tipo esterocezionale sono i corpuscoli tattili (corpuscoli di Meissner) e i menischi o dischi tattili (corpuscoli di Merkel). I primi, innervati da fibre di diametro intermedio A β e a rapido adattamento, rilevano il contatto iniziale della mano con gli oggetti e il movimento della cute delle dita sulla superficie dell'oggetto, per esplorarne le caratteristiche morfologiche, mentre i secondi, innervati da fibre A β a lento adattamento, sono sensibili ai bordi, agli spigoli, alla punta degli oggetti, segnalandone la consistenza (Anastasi et al., 2020).

- Le vie della sensibilità enterocettiva originano da recettori localizzati nei visceri, ossia in derivati entodermici² (Anastasi et al., 2020). L'enterocezione riguarda il senso delle condizioni funzionali dei principali sistemi dell'organismo e del suo stato interno. Anche se la maggior parte degli eventi registrati dai recettori dei visceri non diventano sensazioni coscienti, le informazioni trasmesse da questi recettori sono di fondamentale importanza per la regolazione delle funzioni del sistema nervoso autonomo, dei sistemi cardiovascolare, respiratorio, digerente e renale. Gli enterocettori sono in gran parte dei chemorecettori che monitorano le condizioni funzionali dei vari organi attraverso indicatori come i gas del sangue e il pH (Kandel et al., 2014).

¹ Ectoderma: rappresenta il foglietto esterno dell'embrione da cui origina il sistema nervoso con gli organi di senso e l'epidermide con tutti i suoi annessi.

² Entoderma: rappresenta il foglietto embrionale più interno che dà origine all'epitelio che riveste certe strutture interne, come la maggior parte del tubo digerente e dei suoi annessi, le vie respiratorie, la vescica urinaria, il fegato, il pancreas e qualche ghiandola endocrina.

- Le vie della sensibilità propriocettiva possiedono recettori localizzati in derivati mesodermici,³ ossia tendini, muscoli, capsule articolari e superfici articolari (Anastasi et al., 2020).

Le vie esteroceettive e le vie propriocettive insieme compongono le vie della sensibilità somatica, mentre le vie enteroceettive costituiscono la via della sensibilità viscerale e sono parte del sistema nervoso autonomo.

I meccanocettori dei muscoli e delle capsule articolari trasmettono informazioni circa la postura e i movimenti del corpo, ricoprendo un ruolo importante nella propriocezione e nel controllo motorio (Kandel et al., 2014). Fra questi recettori se ne distinguono:

- due tipi che rilevano la lunghezza del muscolo, ossia le terminazioni fusali di tipo I e II;
- un tipo sensibile alla forza del muscolo, l'organo tendineo del Golgi;
- un altro tipo che comprende i recettori articolari, i quali trasducono la tensione della capsula articolare.

1.5 I propriocettori

L'attuale stato degli studi della propriocezione dimostra esplicitamente che si tratta di un campo di continua ricerca attiva e innovativa, anche perché la propriocezione rappresenta una cospicua e importantissima componente del sistema somatosensoriale. Negli ultimi anni è stata accumulata un'ampia mole di prove sulle caratteristiche dei propriocettori e degli organi sensoriali periferici ad essi collegati ed è stato indagato a fondo il contributo fornito dai meccanocettori situati nella capsula articolare e nella pelle alla propriocezione. Dunque, i propriocettori da cui principalmente originano le informazioni sensoriali di tipo propriocettivo sono i fusi neuromuscolari e gli organi tendinei del Golgi (Vega & Cobo, 2021).

³ Mesoderma: uno dei tre foglietti embrionali che si differenzia interponendosi fra ectoderma ed endoderma e da cui si originano gran parte del tessuto muscolare, le cellule del sangue e alcuni organi come il cuore, i reni e le gonadi.

1.5.1 I fusi neuromuscolari

I fusi neuromuscolari sono dei piccoli recettori sensitivi provvisti di capsula, con una forma allungata, collocati nelle parti carnose dei muscoli. La loro principale funzione è quella di segnalare eventuali variazioni di lunghezza del muscolo all'interno del quale si trovano e a tali variazioni si accompagnano delle modificazioni degli angoli delle articolazioni sulle quali agiscono. Pertanto, i fusi neuromuscolari vengono utilizzati dal sistema nervoso centrale al fine di rilevare la posizione dei diversi segmenti del corpo (Kandel et al., 2014).

I fusi neuromuscolari (vedi Figura 1.8) presentano tre componenti principali:

- un gruppo di fibre muscolari intrafusali specializzate la cui regione centrale è contrattile;
- insieme di fibre sensitive mieliniche che terminano a livello della regione centrale non contrattile delle fibre muscolari intrafusali;
- degli assoni motori che terminano a livello delle regioni polari, contrattili, delle fibre intrafusali.

Le fibre muscolari intrafusali sono innervate dai motoneuroni gamma, che hanno assoni mielinici di piccolo diametro, mentre le fibre muscolari extrafusali sono innervate dai motoneuroni alfa, i quali possiedono assoni mielinici di grande diametro. I motoneuroni gamma hanno il compito di regolare la sensibilità dei fusi neuromuscolari, modulando la frequenza di scarica delle terminazioni sensitive e la probabilità che le terminazioni sensitive scarichino in risposta allo stiramento del muscolo. Ad ogni modo, la contrazione delle fibre muscolari intrafusali non contribuisce in modo significativo allo sviluppo della forza contrattile del muscolo.

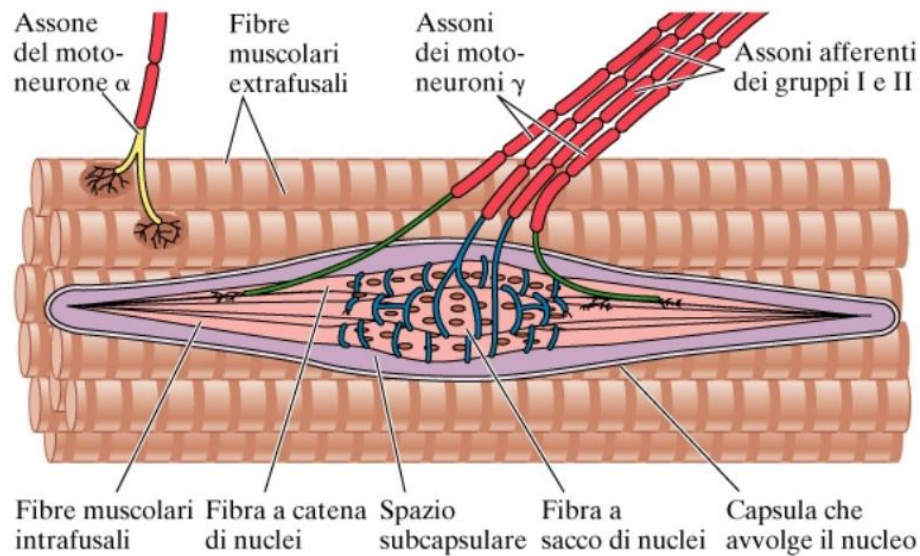


Figura 1.8 Rappresentazione schematica di un fuso neuromuscolare. Come si vede in figura, un fuso neuromuscolare contiene: fibre muscolari intrafusali (2 a sacca e 5 a catena di nuclei) in parallelo con fibre muscolari estrofusali (normali fibre muscolari); dalle fibre intrafusali a sacca si dipartono fibre nervose afferenti sensibili alla velocità di stiramento del muscolo (fibre Ia), mentre dalle fibre intrafusali a catena si dipartono fibre nervose afferenti (fibre Ia e II) sensibili al grado di allungamento del muscolo. Le fibre afferenti primarie grandi (Ia) originano sia dalle fibre intrafusali a sacco che a catena di nuclei e le fibre afferenti secondarie più piccole (II) originano solo dalle fibre intrafusali a catena di nuclei (Vega et al., 2021).

Quando un muscolo viene stirato, nella sua variazione di lunghezza si possono distinguere due fasi: una dinamica, durante la quale la lunghezza del muscolo si modifica, e una stazionaria, durante la quale viene mantenuta la nuova lunghezza. Le caratteristiche strutturali specifiche di ogni componente dei fusi neuromuscolari conferiscono alle terminazioni nervose del fuso la proprietà di rilevare separatamente gli eventi che caratterizzano le due fasi. Si distinguono due tipi di fibre muscolari intrafusali: fibre a sacco di nuclei e fibre a catena di nuclei. Le fibre a sacco di nuclei, a loro volta, possono essere suddivise in due gruppi: fibre dinamiche e fibre statiche. Inoltre, le fibre intrafusali ricevono due tipi di terminazioni sensitive. Un'unica fibra di tipo Ia (di grande diametro) si avvolge a spirale attorno alla regione centrale di tutte le fibre muscolari intrafusali, formando la terminazione sensitiva primaria. Le fibre di tipo II (di diametro intermedio)

sono di numero variabile e terminano nelle parti adiacenti della regione centrale delle fibre a sacco di nuclei statiche e a catena di nuclei, formando le terminazioni sensitive secondarie (Kandel et al., 2014).

Anche i motoneuroni possono essere suddivisi in due gruppi: i motoneuroni gamma dinamici che innervano le fibre a sacco di nuclei dinamiche, mentre i motoneuroni gamma statici innervano le fibre a sacco di nuclei statiche e le fibre a catena di nuclei. Il fatto che l'organizzazione strutturale dei fusi neuromuscolari sia duplice rispecchia, chiaramente, la duplicità della loro funzione. La scarica tonica delle terminazioni sensitive primarie e di quelle secondarie segnala la lunghezza del muscolo in condizioni stazionarie. Le terminazioni primarie sono anche molto sensibili alla velocità dello stiramento e forniscono, dunque, anche informazioni sulla velocità del movimento. Inoltre, sono altamente sensibili alle piccole variazioni di lunghezza, per cui forniscono informazioni circa le variazioni inattese della lunghezza del muscolo, che possono essere così utilizzate per generare delle rapide risposte correttive. L'aumento della frequenza di scarica dei motoneuroni gamma dinamici aumenta la sensibilità dinamica delle terminazioni sensitive primarie, ma non influenza le terminazioni sensitive secondarie.

Bewick e collaboratori (Bewick & Banks, 2015) hanno dimostrato la presenza di un sistema di neurotrasmissione glutammatergica nelle afferenze dei fusi muscolari. A livello dei terminali dei fusi muscolari si trovano delle vescicole sinaptiche che contengono glutammato, sostanza necessaria per mantenere le normali risposte del fuso e una sua buona reattività, infatti, il rilascio di glutammato può raddoppiare la frequenza di attivazione del fuso evocata dall'allungamento muscolare. Il glutammato, dopo essere stato liberato dalle vescicole, viene riassorbito dalle vescicole in quanto requisito essenziale per il meccanismo di rifornimento muscolare. Oltre alla possibile neurotrasmissione classica, il meccanismo principale di trasduzione meccanica nelle terminazioni sensoriali del fuso muscolare è l'attivazione di canali ionici sensibili allo stiramento. La meccanotrasduzione, cioè la conversione di stimoli meccanici in segnali biologici o elettrici, è innescata da:

- i membri delle superfamiglie dei canali Na^+ degenerina-epiteliali (Deg-ENa+C), includendo anche i canali ionici sensibili agli acidi (ASIC). Ci sono prove sempre più consistenti relativamente al ruolo dei membri della famiglia Deg/ENa+C, ossia dei canali meccanosensoriali collocati nei neuroni afferenti primari dei mammiferi

e nelle terminazioni sensoriali dei fusi muscolari (Ismailov, Berdiev, Shlyonsky & Benos, 1997; Althaus, Bogdan, Clauss & Fronius, 2007). Tutte e quattro le subunità del canale Ena+C (α , β , γ e δ) sono presenti nei terminali sensoriali primari del fuso (Bewick et al., 2015; Althaus et al., 2007). In relazione ai canali ASIC, ne sono stati identificati sei sottotipi (ASIC1a, ASIC1b, ASIC2a, ASIC2b, ASIC3 e ASIC4) e a proposito dei fusi muscolari, sono state ottenute prove a favore di un ruolo dell'ASIC2 come meccanotrasduttore primario (Simon, Shenton, Hunter, Banks & Bewick, 2010; Althaus et al., 2007). Coerentemente, i topi carenti di ASIC2 e anche di ASIC3, presentano dei deficit di sensibilità meccanica (Chen & Wong, 2013; Omerbašić Schuhmacher, Bernal, Smith & Lewin, 2015).

- i canali ionici di tipo TRP (Transient Receptor Potential) ossia un gruppo di canali ionici attivati da stimoli chimici e/o fisici, i quali inducono delle differenze temporanee di potenziale elettrico al livello della membrana cellulare. Ad oggi, però disponiamo di poche prove di un ruolo evidente di tali canali nella sensazione di bassa soglia nei fusi (Vega et al., 2021);
- i canali “PIEZO” (Delmas & Coste, 2013; Cobo García-Piqueras, García-Mesa, Feito, García-Suárez & Vega, 2020), dei canali meccanosensibili, di grandi dimensioni e struttura, permeabili allo ione calcio Ca^{2+} (Murthy, Dubin & Patapoutian, 2017; Zhao et al., 2018). Sappiamo che il canale Piezo2 è espresso nei neuroni propriocettivi dei gangli della radice dorsale (Woo et al., 2015), così come nelle terminazioni sensoriali dei propriocettori che innervano i fusi muscolari e gli organi tendinei del Golgi nei topi (Woo et al., 2014). La perdita di “Piezo2” nei neuroni propriocettivi provoca, infatti, atassia e dismetria, movimenti del corpo gravemente scoordinati e posizioni anormali degli arti, contrattura di più articolazioni e debolezza muscolare, suggerendo che “Piezo2” è un requisito necessario per l'attività di questi meccanosensori (Woo et al., 2015; Assaraf et al., 2020).

1.5.2 Gli organi tendinei del Golgi

Gli organi tendinei del Golgi (vedi Figura 1.9) sono formazioni sottili, dotate di capsula, collocate in corrispondenza della giunzione delle fibre muscolari con il tendine. Ogni

capsula racchiude un gran numero di fibre collagene che si intrecciano tra loro e che sono collegate in serie con un insieme di fibre muscolari (Kandel et al., 2014).

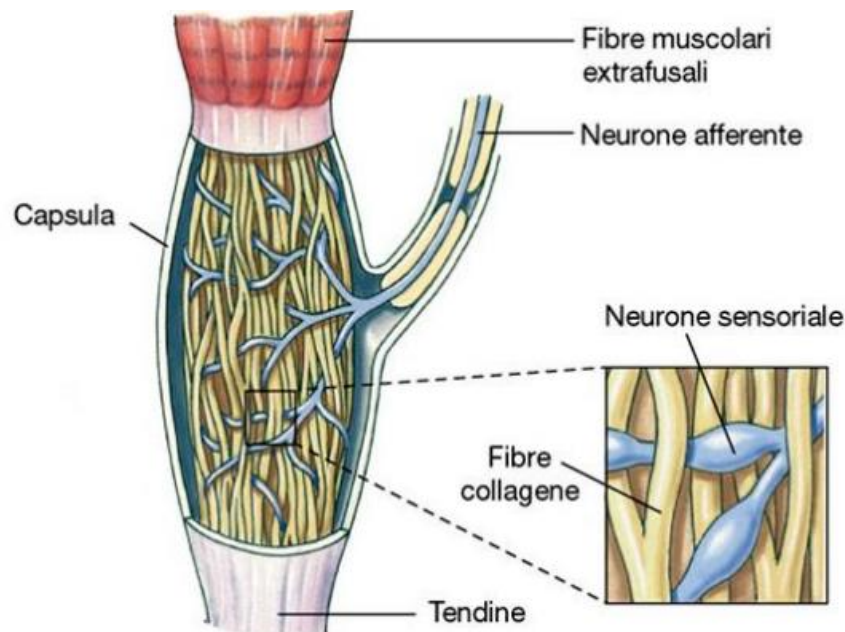


Figura 1.9 Rappresentazione di un organo tendineo del Golgi, meccanocettore costituito da neuroni sensoriali intrecciati a fibre collagene. È localizzato a livello della giunzione tra i tendini e le fibre muscolari. Se le fibre di collagene vengono stirate, schiacciano i neuroni sensoriali e innescano la genesi di un potenziale del recettore e, a sua volta, di un potenziale d'azione (Anastasi et al., 2020).

Ogni organo tendineo è innervato da una sola fibra Ib da cui diparte un gran numero di rami terminali, dopo aver attraversato la capsula. Quando l'organo tendineo è sotto tensione, le fibre collagene vengono stirate e il loro stiramento comporta la compressione delle terminazioni nervose della fibra Ib, che vengono così eccitate. Essendo le terminazioni nervose fittamente intrecciate con le fibre collagene, anche degli stiramenti molto piccoli dell'organo tendineo possono provocare una deformazione delle terminazioni nervose. Mentre il fuso neuromuscolare è particolarmente sensibile alla variazione di lunghezza del muscolo, l'organo tendineo è particolarmente sensibile alla variazione di tensione del muscolo. Uno stimolo efficace per l'organo tendineo è la contrazione delle fibre muscolari connesse con il fascio di fibre collagene che contiene il recettore, che viene quindi facilmente attivato durante i movimenti. Sembra che il livello medio dell'attività di un gruppo di organi tendinei del Golgi situati in un muscolo informi

sulla forza complessiva sviluppata da quel muscolo durante la sua contrazione (Kandel et al., 2014).

La correlazione che intercorre tra la frequenza di scarica degli organi tendinei del Golgi e la forza prodotta dal muscolo supporta l'ipotesi secondo cui l'organo tendineo del Golgi codifichi in maniera continua la forza del muscolo, durante la sua contrazione.

1.6 I percorsi propriocettivi: la via conscia e la via inconscia

Per guidare la propriocezione al sistema nervoso centrale devono essere considerate due diverse vie (vedi Figura 1.10; Vega et al., 2021):

1. **la propriocezione inconscia**, la quale viene convogliata principalmente attraverso i tratti spinocerebellari al cervelletto;
2. **la propriocezione cosciente**, convogliata dal sistema delle colonne dorsali-lemnisco mediale e dal talamo alla corteccia cerebrale.

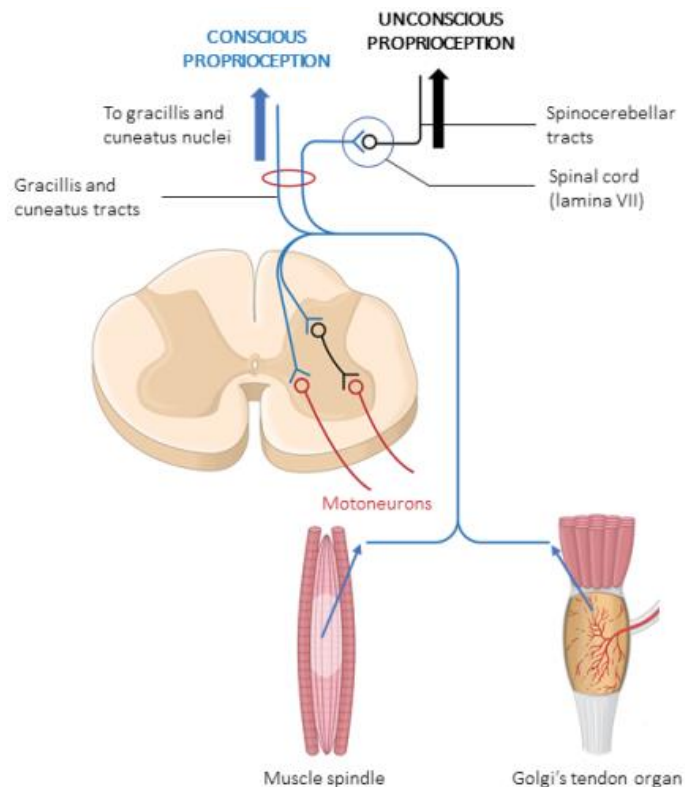


Figura 1.10 Rappresentazione schematica dei percorsi propriocettivi inconsci (nero) e consci (blu) che partendo dai fusi neuromuscolari e dagli organi tendinei del Golgi raggiungono rispettivamente il cervelletto e il cervello (Vega et al., 2021).

Ad oggi, sappiamo che le vie propriocettive inconscie sono composte da catene bi-neuronali, mentre le vie propriocettive consce da una catena tri-neuronale. Di questa catena neuronale di cui il percorso propriocettivo si compone, il primo neurone – neurone sensitivo primario – ha il soma, o corpo cellulare, localizzato all’interno del ganglio di ciascuna radice dorsale, ed è rappresentato da un “neurone pseudounipolare” o “neurone T” (Anastasi et al., 2020). Per definizione, un neurone pseudounipolare ha un assone con due rami (vedi Figura 1.11):

- un ramo periferico o centrifugo (dal corpo cellulare alla periferia: pelle, articolazione e muscoli);
- un ramo centrale o centripeto (dal corpo cellulare al midollo spinale), il quale contrae sinapsi con il secondo neurone o nel midollo spinale o nei nuclei del tronco encefalico. Il neurone sensitivo secondario è anche detto “deutoneurone” o “interneurone di proiezione” (Anastasi et al., 2020).

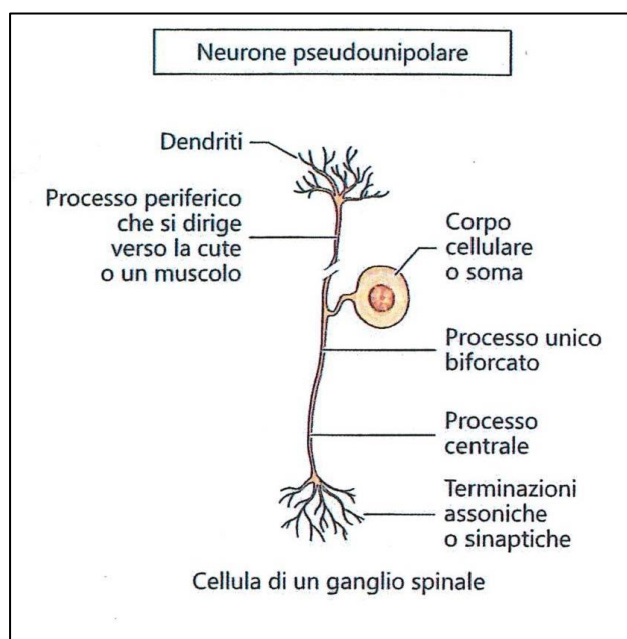


Figura 1.11 Rappresentazione di un neurone pseudounipolare. In figura si possono vedere il ramo centrale e il ramo periferico (Anastasi et al., 2020).

Le vie della sensibilità somatica si denominano proprio sulla base del decorso del secondo neurone (Anastasi et al., 2020) e, proprio per questo motivo, si distinguono anche vie della sensibilità che originano dal midollo spinale (i cui recettori sono situati nel

tronco e negli arti) e vie della sensibilità che originano dal tronco encefalico (i cui recettori sono collocati nella faccia e nella cavità orale).

Tra le vie della sensibilità che originano dal midollo spinale troviamo:

- **Il sistema spinotalamico** (vedi Figura 1.12), composto dai tratti spinotalamico laterale e spinotalamico anteriore. Il primo veicola la sensibilità nocicettiva e termica ed è composto da un “compartimento laterale”, deputato all’aspetto di fine localizzazione del dolore, e un “compartimento mediale”, legato alla componente affettiva ed emozionale del dolore (Anastasi et al., 2020). Il secondo, invece, porta alla corteccia cerebrale il senso di posizione dell’oggetto sulla cute.

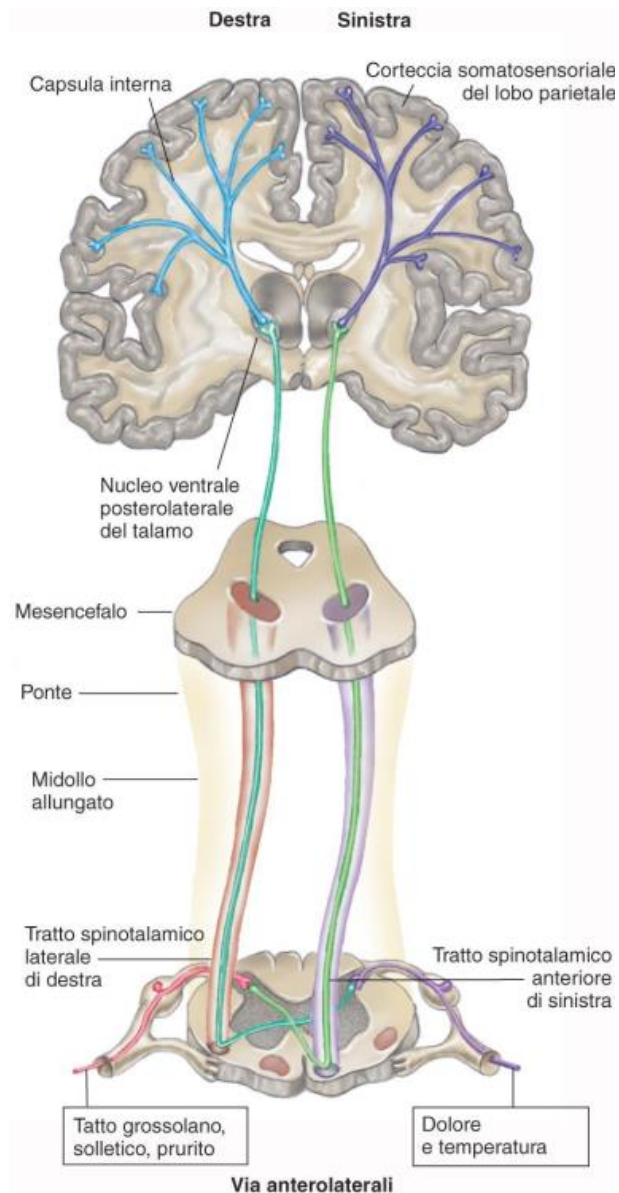


Figura 1.12 Il tratto spinotalamico: trasporta informazioni riguardanti il dolore, la temperatura, il tatto e la pressione alla corteccia somatosensoriale primaria (dolore acuto) e a quella frontale (dolore cronico). Si divide in due tratti: spinotalamico anteriore per il tatto grossolano, il solletico e il prurito e spinotalamico laterale per il dolore e la temperatura (Alloatti et al., 2002).

- **Il sistema delle colonne dorsali-lemnisco mediale** (vedi Figura 1.13): ha origine da meccanocettori cutanei localizzati nella regione più superficiale del derma, in corrispondenza della giunzione dermoepidermica, e da meccanocettori articolari. Questo sistema veicola alla corteccia cerebrale la sensibilità tattile epicritica

(sensibilità esteroceettiva) e la sensibilità cinestetica o sensibilità al movimento degli arti (sensibilità propriocettiva cosciente). Dal momento che alcuni aspetti della propriocezione sono consci, l'informazione deve raggiungere la corteccia cerebrale. Per questo, le vie propriocettive coscienti, come detto prima, sono costituite da una catena tri-neuronale, invece che bi-neuronale. Nello specifico, le informazioni tattili epicritiche e propriocettive coscienti raccolte dai neuroni pseudounipolari periferici vengono convogliate ai centri superiori attraverso un fascio di fibre nervose che ha origine dalla colonna dorsale del midollo spinale, detto lemnisco mediale (composto, anatomicamente parlando, dai nuclei gracile e cuneato), il quale rappresenta una componente importantissima delle vie che ritrasmettono informazioni somatosensitive dalla periferia del corpo.

Dunque, i neuroni sensitivi primari sono posti nei gangli delle radici dorsali e il ramo centrale dei loro assoni sale attraverso le colonne dorsali del midollo spinale per raggiungere i nuclei gracile e cuneato nel midollo (i quali danno origine al lemnisco mediale). In quei nuclei sono collocati i corpi dei neuroni sensitivi secondari, i cui assoni proiettano al nucleo ventrale postero-laterale del talamo, al livello del quale sono localizzati i neuroni sensitivi terziari, i cui assoni terminano nella corteccia somatosensoriale per fornire la percezione cosciente della propriocezione (Vega et al., 2021).

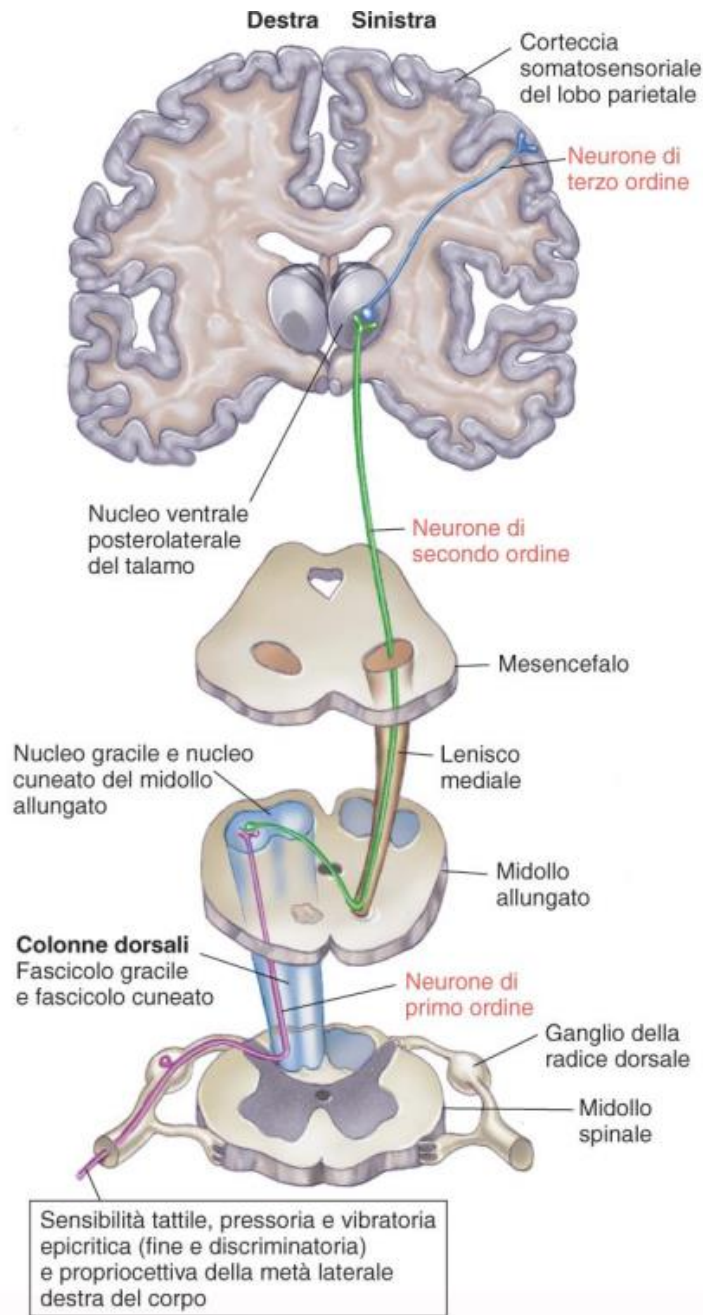


Figura 1.13 Rappresentazione del sistema delle colonne dorsali-lemnisco mediale, il quale si occupa di trasmettere la sensibilità tattile epicritica e la sensibilità propriocettiva cosciente del tronco e degli arti alla corteccia cerebrale, a livello dell'area sensitiva primaria localizzata nel lobo parietale, come si può vedere in figura. Nell'immagine si possono vedere i tre neuroni sensoriali (di primo ordine, di secondo ordine e di terzo ordine) che costituiscono la catena tri-neuronale di cui le vie propriocettive coscienti si compongono. Come rappresentato in figura, i neuroni sensitivi primari sono posti nei gangli delle radici dorsali e il ramo centrale dei loro

assoni sale attraverso le colonne dorsali del midollo spinale per raggiungere i nuclei gracile e cuneato nel midollo, a livello dei quali si trovano i neuroni sensitivi secondari, i cui assoni proiettano al nucleo ventrale postero-laterale del talamo, al livello del quale sono localizzati i neuroni sensitivi terziari, i cui assoni terminano nella corteccia somatosensoriale (Rhoades & Pflanzner, 2004).

- **Il sistema spinocerebellare** (vedi Figura 1.14), composto dai tratti spinocerebellari posteriore o dorsale (di Fleschsig) e anteriore o ventrale (di Gowers), i quali conducono al cervelletto le informazioni sulla posizione del corpo e delle sue parti nello spazio (De Caro, 2020). Il tratto spinocerebellare posteriore trasporta allo spinocerebello la sensibilità propriocettiva incosciente, ossia il tono basale dei muscoli degli arti inferiori e del tronco. Il tratto spinocerebellare anteriore trasferisce, per la sua gran parte, alle stesse regioni del cervelletto le informazioni relative ai comandi motori pervenute al midollo spinale delle aree motorie della corteccia cerebrale. Sulla scorta di queste informazioni, il cervelletto monitorizza e corregge le strategie motorie, confrontando il comando del movimento con l'effetto sul muscolo bersaglio. Lo spinocerebello raggiunge questo risultato agendo sia sul primo motoneurone, attraverso il talamo, sia sul secondo motoneurone, in maniera più diretta. Dunque, lo spinocerebello agisce sia a livello della corteccia motoria modulando il tratto corticospinale, sia a livello del tronco dell'encefalo, modulando le vie extrapiramidali. Il tratto spinocerebellare posteriore o dorsale origina dai fusi neuromuscolari e dagli organi muscolotendinei localizzati nei muscoli dell'arto inferiore e del tronco. La sensibilità muscolare è mediata da fibre nervose A α e A β i cui corpi cellulari sono localizzati nei gangli spinali delle radici dorsali. Il tratto spinocerebellare anteriore o ventrale origina dalle "*spinal border cell*" (De Caro, 2020).

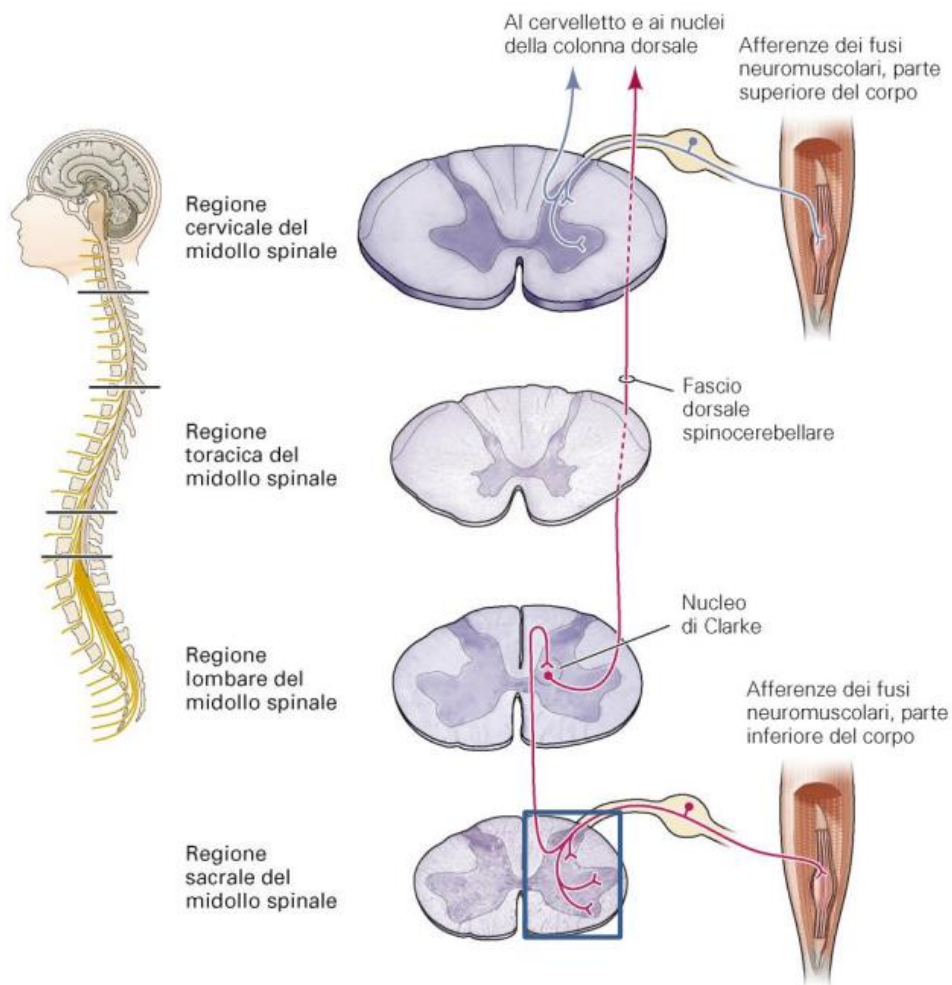


Figura 1.14 Il tratto spinocerebellare trasporta al cervelletto le informazioni sulla posizione del corpo e delle sue parti nello spazio a partire dalle afferenze dei fusi neuromuscolari e dagli organi muscolotendinei localizzati nei muscoli dell'arto inferiore e del tronco (Purves et al., 2021).

CAPITOLO 2

2.1 La propriocezione e il controllo posturale

Durante l'esecuzione di un qualsiasi compito motorio, la propriocezione interviene al fine di preparare, mantenere e ripristinare la stabilità dei vari segmenti corporei e articolari (condizione di stabilità articolare) (Riemann & Lephart, 2002), così come dell'intero corpo (condizione di equilibrio posturale). Il controllo posturale, ossia il controllo della posizione del corpo relativamente al compito svolto in un certo ambiente (Vega et al., 2021), implica il controllo neurale dell'“equilibrio posturale” e dell'“orientamento posturale”. Per equilibrio posturale si intende il coordinamento di strategie sensoriali e motorie per mantenere l'equilibrio e la stabilità posturale in caso di perturbamenti sia intrinseci (auto-iniziati) sia estrinseci (attivati esternamente).

L'equilibrio posturale controlla la stabilità sia nel caso di situazioni statiche (ad esempio, stare in piedi) sia di fronte a condizioni più dinamiche (ad esempio, camminare). L'orientamento posturale implica il posizionamento dell'allineamento del corpo rispetto alla gravità, alla superficie di supporto, all'ambiente visivo e ad altri sistemi di riferimento sensoriali (Horak, 2009). Il controllo posturale è considerato come un'abilità motoria complessa derivata dall'interazione di molteplici processi sensomotori (si veda la Figura 2.1): vincoli biomeccanici (es. base di supporto, gradi di libertà, forza, limiti di stabilità), strategie di movimento (es. movimenti reattivi, anticipatori, volontari), strategie sensoriali (es. integrazione sensoriale, riponderazione sensoriale), orientamento nello spazio (es. percezione della verticalità visiva), controllo delle dinamiche (es. andatura), elaborazioni cognitive (cioè attenzione, apprendimento, tempo di reazione) e, infine, svolgono un ruolo importante ruolo anche la pratica e l'esperienza (Horak, 2006). L'alterazione della sensazione propriocettiva può interrompere una di queste sei risorse, ognuna delle quali contribuisce al controllo posturale.



Figura 2.1 Il contributo della sensazione propriocettiva al controllo posturale. Adattato dal quadro delle sei importanti risorse richieste per il sistema di controllo posturale da Horak (2006) (Vega et al., 2021).

Le informazioni sensoriali provenienti dai sistemi somatosensoriali (senso tattile e propriocezione), visivo e vestibolare devono essere integrate per interpretare ambienti sensoriali complessi e per mantenere il controllo posturale. A seconda delle condizioni ambientali, il contributo relativo di ciascun sistema sensoriale cambia, secondo il principio di "riponderazione sensoriale" (Nashner & Berthoz, 1978). Le persone sane fanno affidamento sulle informazioni somatosensoriali (70%), visive (10%) e vestibolari (20%) quando stanno in piedi su una superficie stabile in un ambiente ben illuminato. L'interazione tra queste tre modalità sensoriali è fondamentale per stimare in maniera accurata il movimento autonomo e il controllo posturale (Hwang, Agada, Kiemel & Jeka, 2014). Inoltre, in virtù dello stretto legame esistente tra il sistema propriocettivo localizzato nei muscoli cervicali, il sistema visivo e vestibolare, la propriocezione cervicale ricopre un ruolo importante per l' "orientamento nello spazio". Infatti, l'input propriocettivo prolungato e intenso dai muscoli del collo può impattare sulla percezione del movimento personale e sulla rappresentazione cognitiva del corpo (Pettorossi & Schieppati, 2014) e, dunque, un'informazione propriocettiva deformata inviata al sistema

nervoso centrale impatterebbe sul programma motorio efferente, compromettendo l'equilibrio e l'atteggiamento posturale corporeo.

Il mantenimento della posizione eretta dipende non solo dall'integrazione dei diversi segnali sensoriali, ma anche da certe condizioni meccaniche, che possono essere vantaggiose o compromettenti. Ad esempio, la diminuzione della propiocezione potrebbe portare a "costrizioni biomeccaniche", tra cui una biomeccanica articolare anormale e una diminuzione della forza muscolare (Ribeiro & Oliveira, 2011; Ito, Sakai, Ito, Yamazaki & Morita, 2020), causando discontrollo posturale.

La perdita della propiocezione potrebbe anche avere un impatto su alcuni aspetti dell'"elaborazione cognitiva", in particolare sul tempo di reazione, e altri fattori come l'attenzione, la memoria e le capacità visuo-spaziali, le quali possono contribuire alle abilità cognitivo-spaziali (Figura 2.1) (Horak, 2006).

2.2 La propiocezione e il controllo motorio

Come già accennato, l'ambiente esterno viene sperimentato attraverso i diversi sistemi sensoriali, ossia l'esterocezione (ad es. vista, udito, tatto), l'enterocezione (ad es. eccitazione, dolore, sensazioni viscerali, sensazioni muscolari) e la propiocezione (ad es. senso della posizione, movimento e forza), tutti necessari perché un individuo possa avere un buon controllo motorio (Marshall, Gentsch & Schütz-Bosbach, 2018; Valori, McKenna-Plumley, Bayramova, Callegher, Altoè & Farroni, 2020), un processo molto dinamico che dipende dall'integrazione selettiva di informazioni sensoriali provenienti da più fonti, comandi motori e output motori (Vega et al., 2021).

Le informazioni propriocettive provenienti dai propriocettori situati negli strati muscolari, nei tendini, nei legamenti, nelle capsule articolari, nella pelle svolgono un ruolo fondamentale nel controllo motorio (Riemann & Lephart, 2002). Infatti, affinché un individuo possa essere in grado di svolgere un compito con un obiettivo programmato, è necessario che venga attuato un processo di adattamento motorio, che consiste sostanzialmente nel cambiamento del movimento sulla base di un feedback ricevuto (Martin, Keating, Goodkin, Bastian & Thach et al., 1996), con l'obiettivo di fronteggiare e rispondere al meglio alle modifiche che si verificano nell'ambiente, sia esterno all'individuo sia interno (Gilman, 2002). Pertanto, l'adattamento motorio richiede una

nuova mappatura tra il movimento effettuale e l'obiettivo programmato nello spazio, al fine di ridurre al minimo l'errore durante l'esecuzione di un certo atto motorio in un intervallo temporale breve. L'adattamento motorio avviene sia grazie al meccanismo di "feedback" (reattivo e che regola il comportamento motorio in corso) sia grazie al meccanismo di "feedforward" (preparatorio e che permette di pianificare preventivamente e di anticipare la sequenza motoria, partendo dall'esperienza precedente).

I piani motori d'azione, dunque, devono continuamente ri-adattarsi alle situazioni esterne, alle perturbazioni o a cambiamenti imprevisi nell'ambiente. Sebbene la fonte di queste informazioni sia solitamente associata principalmente all'input visivo, ci sono molte situazioni dove è l'input propriocettivo ad essere il più veloce e/o più accurato. La propriocezione è necessaria durante l'esecuzione del movimento proprio perché permette di aggiornare i comandi feedforward derivati dall'immagine visiva (Riemann & Lephart, 2002), infatti, affrontare l'ambiente e muoversi in esso richiede continuamente flessibilità comportamentale e una certa attenzione rivolta ai vari vincoli ambientali presenti, al fine di mantenere l'equilibrio posturale (Dakin & Bolton, 2018).

Inoltre, il sistema nervoso centrale ha bisogno di uno schema corporeo aggiornato delle proprietà biomeccaniche e spaziali delle parti del corpo per pianificare e modificare i comandi motori generati internamente (Maravita, Spence & Driver, 2003). Prima e durante un comando motorio, il sistema di controllo motorio deve considerare le posizioni attuali e mutevoli delle rispettive articolazioni per avere sotto controllo le diverse interazioni meccaniche delle diverse componenti del sistema muscolo-scheletrico (Riemann & Lephart, 2002).

Gli aspetti di propriocezione, però, sono molto importanti anche dopo il movimento per confrontare il movimento effettivo e il movimento pianificato e per avere informazioni sul movimento pianificato derivato dalle copie efferenziali (copia di comandi motori basati su eventi passati) degli ordini motori, le quali svolgono un compito centrale nell'apprendimento motorio, nello specifico nell'aggiornamento del modello interno anticipatorio del comando motorio (Röijezon, Clark & Treleaven, 2015).

2.3 La compromissione della propriocezione: le implicazioni cliniche

La perdita delle afferenze propriocettive può influenzare il controllo del tono muscolare, interrompere i riflessi posturali e compromettere significativamente gli aspetti spazio-temporali del movimento (Aman, Elangovan, Yeh & Konczak, 2015). Effettivamente, a deficit propriocettivi si associano un insieme molto diversificato di condizioni attenzionate dalla clinica. Ad esempio, a seguito di una lesione del lobo parietale, il senso di posizione è spesso compromesso, mentre la vibrazione sembra essere preservata (Campbell & DeJong, 2005). Sembra, però, che la sensazione vibratoria possa essere ridotta in caso di lesioni dei nervi periferici o in caso di compromissione dei gangli della radice dorsale, delle colonne posteriori e del lemnisco mediale. In particolare, le lesioni delle colonne dorsali alterano la sensazione di tatto, vibrazione e propriocezione nel lato omolaterale del corpo (Wirz & van Hedel, 2018).

È stato visto che i disturbi propriocettivi sono associati a varie condizioni neurologiche, tra cui la neuropatia periferica⁴ (Li, Zhang & Dobson, 2019), il morbo di Parkinson (Teasdale, Preston & Waddington, 2017), l'ictus (Rand, 2018) e, infatti, l'esame del senso articolare e del senso di vibrazione rappresenta una componente consistente dell'esame neurologico. È stato visto che in pazienti con neuropatia diabetica, disturbo specifico che colpisce coloro che soffrono di diabete mellito, il declino della funzione propriocettiva può essere causato da una compromissione della funzione del fuso muscolare e/o dei recettori del fuso stesso (van Deursen et al., 1998). Nei pazienti con neuropatia ereditaria sensoriale e autonoma di tipo III (sindrome di Riley-Day, disautonomia familiare), l'andatura atassica è spiegata da una ridotta acuità propriocettiva dell'articolazione del ginocchio (Bennell et al., 2003).

Anche in pazienti con disturbi cronici associati al colpo di frusta sono stati riscontrati problemi di equilibrio e vertigini, disturbi del movimento degli occhi e della testa, supportando l'ipotesi di una mancata corrispondenza tra input afferenti dai sistemi propriocettivi, visivi e vestibolari (Armstrong, McNair & Taylor, 2008; Treleaven, Peterson, Ludvigsson, Kammerlind & Peolsson, 2016).

⁴ Le neuropatie periferiche sono un gruppo di malattie caratterizzate dal danneggiamento e, conseguentemente, dal malfunzionamento dei nervi periferici. Il sistema nervoso periferico è costituito dai nervi che connettono il sistema nervoso centrale (cervello e midollo spinale) ai muscoli, alla pelle e agli organi interni.

Come anticipato, ci sono prove sperimentali di alterazioni della propriocezione nel morbo di Parkinson (Parkinson Disease, PD), un disturbo neurologico progressivo spesso caratterizzato da deterioramento dell'equilibrio e declino della funzione motoria. I sintomi motori possono includere tremore a riposo, bradicinesia, postura curva e alterazione dell'andatura (Teasdale et al., 2017).

In relazione ai deficit propriocettivi, le persone con PD, possono presentare una mancanza di cinestesia, ossia il senso propriocettivo durante il movimento. La compromissione cinestetica può essere collegata ai frequenti deficit motori che emergono con la progressione del disturbo (Suetterlin & Sayer, 2014) e, al contempo, può anche contribuire ad un aumento del numero di cadute; infatti, due terzi delle persone che vivono in una comunità di PD hanno subito una caduta nei 12 mesi precedenti (Ashburn, Fazakarley, Ballinger, Pickering, McLellan & Fitton, 2007).

La compromissione della propriocezione è stata direttamente correlata con una ridotta indipendenza e un aumento di cadute nelle popolazioni geriatriche, ed è possibile che una compromissione della propriocezione possa contribuire all'instabilità posturale tipica del PD. L'instabilità posturale, per di più, va ad esacerbarsi quando la vista viene occlusa, il che può suggerire un problema con l'integrazione delle informazioni propriocettive (Jacobs & Horak, 2006). A livello neuroanatomico, i gangli della base sembrano essere determinanti per il processo di integrazione sensomotoria, mediate il quale le informazioni sensoriali, tra cui le informazioni propriocettive, vengono “mappate” sul comando motorio (Maschke, Gomez, Tuite & Konczak, 2003). Nello specifico, i gangli della base ricevono input dai recettori visivi e propriocettivi e si pensa che la deplezione di dopamina nei gangli della base, caratteristica del PD, possa influenzare negativamente l'integrazione di queste informazioni (Maschke et al., 2003). L'andatura parkinsoniana è influenzata dai deficit propriocettivi degli arti inferiori e, da un punto di vista cerebrale, sembra che siano coinvolte alterazioni strutturali o funzionali in diverse aree, tra cui le corteccie laterali somatosensoriali e premotorie controlaterali, la corteccia cingolata posteriore, i gangli della base e la corteccia prefrontale bilaterale (Ribeiro, Souza, Bizarro & Oliveira, 2011; Jacobs & Horak, 2006; Keijsers, Admiraal, Cools, Bloem & Gielen, 2005). È stato anche dimostrato che ci sono delle alterazioni strutturali a livello delle anse cerebro-basali che supportano la compromissione della percezione cosciente degli stimoli cinestesici in pazienti affetti da morbo di Parkinson (Maschke et al., 2003).

Weeks e colleghi (2017) hanno mostrato che i pazienti con danno cerebellare avevano una ridotta acuità propriocettiva dinamica, parallela anche ai loro deficit motori (Weeks, Therrien & Bastian, 2017). Maschke e colleghi (2003) hanno scoperto che i pazienti affetti da Parkinson mostravano una significativa compromissione della capacità di rilevare gli spostamenti dell'avambraccio rispetto ai controlli sani. È stato dimostrato che le alterazioni propriocettive possono essere specifiche dell'articolazione e che una perdita della propriocezione relativa alla caviglia potrebbe contribuire significativamente all'instabilità posturale e alle cadute (Dietz, 2002). A tal proposito, uno studio condotto da Teasdale e colleghi (2017) ha esaminato la propriocezione della caviglia nei pazienti affetti da Parkinson da lieve a moderato e anziani sani e i risultati hanno dimostrato una differenza significativa nella propriocezione della caviglia tra le persone con Parkinson e i partecipanti sani del gruppo di controllo, sia durante l'inversione che durante la propriocezione generale. Sono state evidenziate correlazioni moderatamente significative tra compromissione della propriocezione e gravità dei sintomi del Parkinson e deboli correlazioni tra compromissione della propriocezione e cadute e paura di cadere.

Dunque, la compromissione della propriocezione evidente nei partecipanti con PD può essere il risultato di una ridotta integrazione sensoriale centrale, come conseguenza della riduzione di dopamina nei gangli della base, infatti, è stato stabilito che i neuroni nei gangli della base hanno campi propriocettivi e queste risposte neuronali sono specifiche per le articolazioni. Sembra che l'allenamento dell'equilibrio e della propriocezione abbia migliorato il controllo motorio degli arti inferiori negli individui sani e l'allenamento della propriocezione mediante training biocomportamentali come i training di biofeedback⁵ si è dimostrato efficace nel migliorare l'equilibrio, la propriocezione (Prosperini et al., 2013) e anche l'indipendenza e il rischio di cadute (Prosperini, Leonardi, De Carli, Mannocchi & Pozzilli, 2010) nelle persone con sclerosi multipla; tuttavia, l'efficacia della valutazione e della formazione della propriocezione nelle persone con PD deve essere stabilita.

⁵ Il biofeedback è un processo che permette ad un soggetto di imparare a modificare la propria attività fisiologica, con il fine di migliorare la salute e le prestazioni. Esistono, infatti, degli strumenti che permettono di misurare l'attività fisiologica (le onde cerebrali, la funzione cardiaca, la respirazione, l'attività muscolare, la temperatura cutanea) e di inviare tempestivamente un "feedback" informativo all'utente, il quale in combinazione con dei cambiamenti a livello delle emozioni, del comportamento e del pensiero supporta i cambiamenti fisiologici desiderati, che nel tempo, si auspica possano perdurare anche senza ricorrere ad alcuno strumento.

La propiocezione è compromessa in un'ampia percentuale di individui dopo l'ictus ischemico (“*stroke*”) (Rand, 2018), ossia la morte di una parte del tessuto cerebrale (infarto cerebrale) causata da un apporto insufficiente di sangue e ossigeno al cervello successivamente al blocco di un'arteria, generalmente dovuto ad un coagulo di sangue e/o da un deposito di grasso dovuto all'aterosclerosi⁶. Si è visto che l'ictus colpisce la mano ipsilaterale, così come la mano controlaterale, in termini di capacità motoria, tempo di reazione, precisione (Sunderland, 2000; Wetter et al., 2005; Desrosiers, Bourbonnais, Bravo, Roy & Guay, 1996) e di propiocezione.

Un corretto funzionamento propriocettivo è fondamentale per il controllo e il funzionamento del movimento (Smith, Akhtar & Garraway, 1983; Reding & Potes, 1988) ed ha un ruolo centrale nella fase di recupero post-ictus. È stato riscontrato che la presenza di deficit propriocettivi è un importante predittore di uno scarso esito funzionale post-ictus, in particolare nel raggiungimento dell'indipendenza nelle attività di base della vita quotidiana e nella durata della degenza ospedaliera (Stern, McDowell, Miller & Robinson, 1970; Wade, Wood & Langton-Hewer, 1985).

Grazie allo studio di Rand (2018) è stato riscontrato che a seguito della manifestazione di un ictus ischemico con un conseguente danno a carico dell'arto superiore, la prevalenza di deficit propriocettivi dell'arto dei soggetti colpiti variava tra il 30 e il 48%. Lo studio ha permesso di dimostrare le associazioni esistenti tra i deficit propriocettivi relativi alle capacità motorio-funzionali e la destrezza e un buon utilizzo quotidiano dell'arto superiore compromesso a seguito del manifestarsi dell'ictus.

Grazie a questo studio condotto su due gruppi di soggetti (uno con deficit propriocettivi, l'altro senza) sono state riscontrate differenze significative tra i partecipanti con e senza deficit di propiocezione rispetto all'arto superiore compromesso, in termini di forza motoria, funzionale e di presa. Tali differenze nei deficit motori e propriocettivi sono probabilmente riconducibili al danno cerebrale più esteso (Findlater et al., 2016; Kenzie et al., 2014) nei partecipanti con deficit propriocettivi, con conseguente peggioramento dei sintomi clinici degli arti superiori. Probabilmente, le differenze riscontrate potrebbero non essere solo dovute dal danno cerebrale iniziale causato dall'ictus, ma anche dall'uso limitato dell'arto superiore durante i mesi successivi all'ictus, che potrebbe aver

⁶ Malattia cronica e progressiva dei vasi sanguigni che si manifesta in età adulta o avanzata. È dovuta ad un ispessimento e alla perdita di elasticità delle arterie, provocando una riduzione del flusso sanguigno che raggiunge le aree del corpo e i tessuti irrorati dall'arteria malata.

determinato un'ulteriore limitazione delle capacità funzionali e motorie dei soggetti. Inoltre, le differenze tra i gruppi non erano circoscritte all'arto superiore compromesso, bensì è emersa una dimensione dell'effetto medio con una tendenza alla significatività statistica anche rispetto alla differenza tra i due gruppi in termini di destrezza manuale dell'estremità superiore meno colpita (più forte). Infatti, la destrezza della mano meno colpita (più forte) risultava più lenta della destrezza dei controlli sani. Di conseguenza, i partecipanti che presentavano deficit propriocettivi erano anche meno indipendenti nello svolgimento di attività di base e di attività strumentali nella vita quotidiana. In uno studio condotto da Vidoni e colleghi (2009), l'apprendimento motorio preservato dopo l'ictus era correlato al grado di deficit propriocettivo, suggerendo una relazione tra la percezione propriocettiva dei fusi muscolari, l'apprendimento motorio e la neuroplasticità centrale (Vidoni & Boyd, 2009).

Vi sono delle prove del peso dell'invecchiamento sul deterioramento della propriocezione (Vega et al., 2021). Infatti, con il progredire degli anni, le funzioni di diversi sistemi fisiologici cambiano radicalmente, inclusa la propriocezione. La compromissione della propriocezione porta a un rilevamento meno accurato dei cambiamenti della posizione del corpo, aumentando il rischio di caduta, e ad una biomeccanica articolare anormale durante le attività funzionali. Un alterato controllo neuromuscolare dell'arto inferiore e di conseguenza uno scarso equilibrio derivante da alterazioni della funzione propriocettiva potrebbero essere correlati all'elevata incidenza di cadute dannose che si verificano nei soggetti anziani.

Le conoscenze degli effetti dell'età sulla propriocezione di cui disponiamo risultano da studi trasversali che confrontano la propriocezione in diversi gruppi di età. Ribeiro e Oliveira (2007) hanno valutato la propriocezione misurando il senso della posizione articolare (Joint Position Sense, JPS) e/o il senso del movimento. Skinner e colleghi (1984) hanno studiato l'effetto dell'invecchiamento sulla propriocezione del ginocchio durante un movimento passivo, testando la soglia di rilevamento del movimento articolare e la capacità di riprodurre il posizionamento passivo del ginocchio e hanno osservato che i soggetti più anziani avevano una propriocezione peggiore in entrambi i test rispetto ai soggetti più giovani (Skinner et al., 1984). Anche Kaplan e colleghi (1985) hanno valutato i cambiamenti propriocettivi legati all'età, ma utilizzando due tecniche che richiedevano un movimento attivo (riposizionamento attivo omolaterale e controlaterale) (Kaplan et

al., 1985). Dai risultati è emerso che i soggetti più anziani avevano una propriocezione peggiore rispetto ai soggetti più giovani. Effettivamente, diversi studi hanno mostrato una relazione tra invecchiamento e declino in diversi aspetti della sensibilità propriocettiva, tra cui una diminuzione del senso della posizione articolare e un aumento della soglia di rilevamento del movimento. È bene ricordare che il sistema somatosensoriale e, in particolare, il sistema propriocettivo, sono coinvolti marcatamente nel controllo sensoriale dell'equilibrio; infatti, in molti si sono occupati di studiare il ruolo che la visione, la propriocezione e il sistema vestibolare svolgono nell'equilibrio, scoprendo che le persone di tutte le età si affidavano prevalentemente alla propriocezione invece che alla vista per il mantenimento dell'equilibrio.

I risultati degli studi condotti sul rapporto tra declino propriocettivo e invecchiamento sono confermati anche dagli studi di Sung You (2005), il quale ha riscontrato differenze del 47,5% nel riposizionamento della caviglia articolare tra soggetti giovani (età media: 22,2 anni) e anziani (età media: 73,1 anni) (You, 2005). Anche Yan e Hui-Chan (2000) hanno mostrato che la soglia di rilevamento dell'articolazione era del 50% più alta nei soggetti più anziani (di età compresa tra 57 e 77 anni) rispetto ai soggetti più giovani (di età compresa tra 25 e 35 anni) sia per i movimenti di estensione che di flessione del ginocchio (Yan & Hui-Chan, 2000). Quindi, in generale la letteratura suggerisce che il senso della posizione dell'arto inferiore, dell'articolazione del ginocchio e dell'articolazione della caviglia è influenzato negativamente dall'invecchiamento (Ribeiro et al., 2011). Allo stesso modo, nell'arto superiore, è stato osservato un calo del senso di posizione articolare del gomito e del dito. Diversi studi hanno analizzato la relazione tra il processo di invecchiamento e le modificazioni strutturali dei recettori articolari (Aydoğ, Korkusuz, Doral, Tetik & Demirel, 2006) e cutanei (Iwasawi, Goto, Ezure & Moriyama, 2003). Ad oggi nessuno studio ha esaminato cambiamenti legati all'età nell'organo tendineo del Golgi. Gli studi si sono concentrati maggiormente sui fusi muscolari, i principali meccanocettori coinvolti nella propriocezione, anche perché i cambiamenti propriocettivi indotti dall'attività fisica sembrano essere correlati, a livello periferico, con gli adattamenti del fuso muscolare.

L'avanzare dell'età provoca un declino della propriocezione che coinvolge sia il livello centrale che quello periferico del fuso muscolare. A livello periferico, sono stati riscontrati dei cambiamenti anatomico-strutturali e fisiologici del fuso muscolare legati

all'età, tra cui una diminuzione del numero totale di fibre intrafusali, una riduzione del numero di fibre a catena nucleare di ogni fuso e un aumento dello spessore della capsula del fuso (Kararizou, Manta, Kalfakis & Vassilopoulos, 2005; Liu, Eriksson, Thornell & Pedrosa-Domello, 2005). Le conclusioni tratte da questi studi suggeriscono che la progressiva compromissione propriocettiva età-relata è in parte causata da cambiamenti nella funzione del fuso muscolare.

In aggiunta, l'avanzare dell'età porta a deficit nell'elaborazione degli input sensoriali (anomalie della mielina, atrofia degli assoni, riduzione della velocità di conduzione nervosa) (Verdu, Ceballos, Viches & Navarro, 2000) e declino delle prestazioni neuromuscolari. È stato dimostrato che l'adulto più anziano ha meno unità motorie, ma in media più grandi e più lente e questo ha delle ripercussioni negative sulla riorganizzazione dell'unità motoria. Pertanto, l'alterazione, legata all'età, del numero e della funzione delle unità motorie ha marcate implicazioni nella produzione e nel controllo della forza muscolare, e più in generale sulla capacità propriocettiva.

A livello centrale, invece, la funzione conduttiva delle vie somatosensoriali centrali è influenzata dal normale/fisiologico invecchiamento, il quale comporta una progressiva perdita del sistema dendritico nella corteccia motoria, una perdita del numero di neuroni e recettori e una serie di cambiamenti neurochimici nel cervello.

Dunque, è ragionevole aspettarsi che il declino della propriocezione riscontrato nei soggetti anziani potrebbe essere correlato a cambiamenti sia centrali che periferici. Tuttavia, alcuni autori hanno suggerito che gli anziani potrebbero compensare il deterioramento della propriocezione (dunque, degli input periferici) migliorando la sensibilità della codifica centrale delle conseguenze sensoriali (input centrali), riducendo così gli errori percettivi propriocettivi durante il controllo dell'equilibrio (Horak, Shupert & Mirka, 1989; Stelmach & Sirica, 1986).

Al contempo, deficit propriocettivi si associano anche ad infortuni sportivi, possibilmente causati da un'instabilità cronica delle articolazioni, a lesioni del legamento crociato anteriore, fino a coinvolgere anche condizioni come la lombalgia (Tong, Mousavi, Kiers, Ferreira, Refshauge & van Dieën, 2017), il dolore al collo (Stanton, Leake, Chalmers & Moseley, 2016) o più in generale, condizioni di dolore cronico. Infatti, se spesso la percezione spaziale del nostro corpo è data per scontata, dal momento che opera in gran parte in assenza di consapevolezza, questo potrebbe non essere il caso

di 1 adulto su 5 che vive con disturbi cronici correlati al dolore (Breivik, , Collett, Ventafridda, Cohen & Gallacher., 2005); infatti, molti riferiscono che la rappresentazione mentale della parte del loro corpo colpita è in qualche modo distorta, sia in termini di dimensioni che di postura, o addirittura del tutto assente (Lewis et al., 2010; Melzack, 1990; Wand et al., 2011).

Riprendendo la proposta di Sherrington del 1906 (si veda Capitolo 1), sappiamo che il senso del proprio sé fisico comprende tre sistemi fisiologici interconnessi: la propriocezione, riferita agli input sensoriali generati dal corpo stesso e alle sensazioni generate dalle azioni stesse del corpo (Proske e Gandevia, 2012), l'esterocezione, riferita agli input provenienti dall'ambiente circostante e l'enterocezione, che concerne la consapevolezza delle sensazioni all'interno del corpo e dei cambiamenti nella regolazione autonoma nei comuni disturbi del dolore cronico (vedi Figura 2.2). La rappresentazione centrale del corpo viene generata da una consistente sovrapposizione tra i sistemi enterocettivo, esterocettivo e propriocettivo.



Figura 2.2 La rappresentazione centrale del corpo è il frutto della sovrapposizione tra i sistemi enterocettivo, esterocettivo e propriocettivo.

È ormai ampiamente associato che le informazioni provenienti dai propriocettori si proiettano alla corteccia cerebrale (Landgren & Silfvenius, 1969; McIntyre, Proske & Rawson, 1984; Oscarsson & Rosén, 1963), contribuendo e mantenendo una mappa

mentale del corpo, sebbene ci siano prove dell'esistenza di mappe corporee multiple (Kammers, van der Ham & Dijkerman, 2006; Schwoebel & Coslett, 2005). Una di queste mappe è lo schema corporeo (Head & Holmes, 1911) – o schema posturale (Longo & Haggard, 2010) - una rappresentazione interna della postura del corpo, che viene costantemente aggiornata sulla base delle esperienze attuali (Berlucchi & Aglioti, 2010). Quindi, il ruolo dello schema corporeo è quello di guidare le azioni motorie distinte dalla percezione cosciente, dalle credenze e dall'atteggiamento del corpo da parte del soggetto (quelle che rientrano invece nell'immagine corporea) (de Vignemont, 2010).

Si è visto che le percezioni di pesantezza, forza e sforzo sono generate – almeno in parte – da un comando motorio centrale (McCloskey, Gandevia, Potter & Colebatch, 1983). Queste sensazioni sono generalmente accompagnate da una contrazione muscolare, durante la quale la percezione del comando motorio discendente associato genera una sensazione di sforzo. Al contempo, in periferia, i propriocettori e i recettori cutanei agiscono segnalando la quantità di tensione al muscolo (Proske & Gandevia, 2012). Questi recettori forniscono un feedback afferente, che viene confrontato con la copia efferente, un segnale generato internamente del flusso motorio associato al comando motorio e sembra che sia la mancata corrispondenza tra le informazioni afferenti e il feedback sensoriale previsto la responsabile delle sensazioni di tensione o forza percepite.

In pazienti con dolore cronico, i cambiamenti relativi alla propriocezione sembrano dipendere da alterazioni nell'elaborazione neurale dei segnali propriocettivi (Brumagne, Cordo & Verschueren, 2004; Popa, Bonifazi, Della Volpe, Rossi & Mazzocchio, 2007; (McCabe & Blake, 2008). Nei pazienti con dolore cronico, la percezione imprecisa della tensione muscolare è uno dei meccanismi ipotizzati alla base di elevati livelli cronici di tensione muscolare e, di conseguenza, del dolore persistente. In particolare, Flor, Birbaumer e Turk (1990) hanno suggerito che una percezione inadeguata e la conseguente mancata regolazione dei livelli di tensione muscolare possono contribuire alla persistenza di un'elevata tensione muscolare e quindi dei livelli di dolore riscontrati in seguito all'aumento della reattività muscolare correlato allo stress (Flor et al., 1990). Secondo questa ipotesi, gli aspetti propriocettivi di percezione e la regolazione della tensione muscolare, implicati nel dolore cronico, sarebbero compromessi, in particolare in coloro

che soffrono di cefalea tensiva cronica (Appelbaum, Blanchard & Andrasik, 1984), dolore al collo, alla spalla e nelle regioni mascellari.

Si pensa, dunque, che ad un rilassamento del muscolo potrebbe corrispondere sollievo dal dolore. In effetti, gli studi hanno confermato l'aumento dell'attività del muscolo colpito utilizzando l'elettromiogramma (EMG) (Jacobs, Henry, Jones, Hitt & Bunnt, 2011), che può essere risolta con biofeedback e allenamento (Fowler & Kraft, 1974). Quando si valuta la tensione e/o la consapevolezza della forza durante gli stati di dolore acuto (ad esempio, indotto con iniezioni di soluzione salina ipertonica) (Weerakkody, Percival, Canny, Morgan & Proske, 2003) o stati di dolore cronico (Flor et al., 1992) vi è una significativa sottostima della forza generata dal muscolo doloroso, suggerendo una ridotta consapevolezza del feedback del muscolo doloroso. Questo meccanismo potrebbe essere alla base dell'irrigidimento a lungo termine dei muscoli nella parte del corpo interessata (Hodges & Tucker, 2011).

Una regolazione inadeguata della tensione muscolare può non solo contribuire al mantenimento del dolore cronico, ma può anche influenzare la produzione di forza (Jacobs et al., 2011). Descarreaux e colleghi (2004) hanno esaminato i parametri di produzione di forza isometrica in pazienti con lombalgia cronica e, mentre il gruppo con dolore cronico si è comportato in modo simile ai controlli in termini di massima forza di contrazione volontaria, un sottogruppo all'interno del gruppo del dolore ha impiegato un tempo più lungo per raggiungere il picco di produzione di forza (Descarreaux, Blouin & Teasdale, 2004). È interessante notare che questo sottogruppo ha riportato meno dolore durante il periodo del test, suggerendo che i partecipanti hanno adottato diverse strategie motorie per ridurre il dolore che il compito avrebbe potuto procurargli. Tali risultati conducono ad un'importante osservazione, mettendo in luce che i partecipanti hanno adottato dei comportamenti al fine di evitare la paura di provare dolore (Vlaeyen & Linton, 2000) e sottolineando l'importanza degli aspetti psicologici e affettivi nelle sensazioni di dolore. Infatti, nel tentativo di spiegare come e perché alcuni individui con dolore muscoloscheletrico sviluppano una sindrome da dolore cronico, Lethem e colleghi (1983) hanno descritto il modello di "evitamento della paura", ponendo al centro la paura del dolore, alla quale le persone tendono a rispondere con il confronto o con l'evitamento. La prima porta alla riduzione della paura nel tempo, mentre l'evitamento comporta mantenimento o l'esacerbazione della paura, generando eventualmente uno stato fobico.

Nell'ultimo decennio, un numero crescente di ricerche ha supportato e rivisto il modello di evitamento della paura al fine di comprendere a fondo il ruolo di mediazione della paura correlata al dolore e le sue conseguenze immediate ea lungo termine nell'inizio e nel mantenimento della disabilità da dolore cronico. Si è visto che la valutazione negativa degli stimoli interni ed esterni, l'affettività negativa e la sensibilità all'ansia potrebbero svolgere un ruolo nella paura correlata al dolore potrebbero (Vlaeyen & Linton, 2000).

Riassumendo i risultati di vari studi condotti, potremmo concludere che i deficit nella percezione dei livelli di tensione muscolare possono essere un fattore patogenetico nei problemi di dolore muscoloscheletrico. Inoltre, questo deficit comporterebbe una risposta ritardata o inadeguata o un aumento dei livelli di tensione muscolare, causato da un insieme di fattori psicologici o posturali e un aggiustamento ritardato o inadeguato della tensione muscolare può portare a un'ampia gamma di conseguenze fisiche nel muscolo e nei recettori muscolari, inclusi i nocicettori.

La tensione muscolare svolge un ruolo cruciale non solo nell'insorgenza di problemi correlati al dolore, ma come emerge dalla letteratura, la tensione muscolare rappresenta un sintomo somatico cruciale nei disturbi d'ansia. Data la rilevanza della tensione muscolare sia in alcuni disturbi psicologici, in particolar modo nel disturbo d'ansia generalizzata (DAG), di cui, nello specifico, rappresenta un criterio diagnostico (vedi Figura 2.3) sia in disturbi che coinvolgono condizioni di dolore cronico, è necessario comprenderne maggiormente il ruolo.

- A. Ansia e preoccupazione eccessive (attesa apprensiva), che si manifestano per la maggior parte dei giorni per almeno 6 mesi, a riguardo di una quantità di eventi o di attività (come prestazioni lavorative o scolastiche).
- B. La persona ha difficoltà nel controllare la preoccupazione.
- C. L'ansia e la preoccupazione sono associate con tre (o più) dei sei sintomi seguenti (con almeno alcuni sintomi presenti per la maggior parte dei giorni negli ultimi 6 mesi):
 - 1) irrequietezza, o sentirsi tesi o con i "nervi a fior di pelle"
 - 2) facile affaticabilità
 - 3) difficoltà a concentrarsi o vuoti di memoria
 - 4) irritabilità
 - 5) tensione muscolare
 - 6) alterazioni del sonno (difficoltà ad addormentarsi o a mantenere il sonno, o sonno inquieto e insoddisfacente).
- D. L'oggetto dell'ansia e della preoccupazione non è limitato alle caratteristiche di altri Disturbi d'Ansia, per es. l'ansia o la preoccupazione non riguardano l'aver un Attacco di Panico (come nel Disturbo di Panico), rimanere imbarazzati in pubblico (come nella Fobia Sociale), essere contaminati (come nel Disturbo Ossessivo-Compulsivo), essere lontani da casa o dai parenti stretti (come nel Disturbo d'Ansia di Separazione), prendere peso (come nell'Anoressia Nervosa), avere molteplici fastidi fisici (come nel Disturbo di Somatizzazione), o avere una grave malattia (come nell'Ipocondria), e l'ansia e la preoccupazione non si manifestano esclusivamente durante un Disturbo Post-traumatico da Stress.
- E. L'ansia, la preoccupazione, o i sintomi fisici causano disagio clinicamente significativo o menomazione del funzionamento sociale, lavorativo o di altre aree importanti.
- F. L'alterazione non è dovuta agli effetti fisiologici diretti di una sostanza (per es. una droga di abuso, un farmaco) o di una condizione medica generale (per es. ipertiroidismo), e non si manifesta esclusivamente durante un Disturbo dell'Umore, un Disturbo Psicotico o un Disturbo Pervasivo dello Sviluppo.

Figura 2.3 I criteri diagnostici per il disturbo d'ansia generalizzata. Come si vede in figura, l'ansia e la preoccupazione sperimentata dal soggetto sono associate a tre o più dei sei sintomi elencati, tra cui troviamo la tensione muscolare, per la durata di almeno 6 mesi (Manuale Diagnostico e Statistico dei Disturbi Mentali, DSM-5, American Psychiatric Association, 2014).

Hoehn-Saric e Masek (1981), grazie ai loro studi, hanno visto che i pazienti con disturbo d'ansia generalizzata rispondevano fisiologicamente principalmente con disturbi del sonno e un livello aumentato della tensione muscolare. Questi risultati sono stati confermati in un ulteriore studio (Hoehn-Saric, McLeod & Zimmerli, 1989) in cui i pazienti con DAG differivano dai controlli sani, durante i periodi di riposo, per i livelli di tensione muscolare fisiologica riportati.

Diversi studiosi si sono, dunque, interrogati su una possibile spiegazione dei livelli aumentati di tensione muscolare in persone con disturbi d'ansia, contrariamente alle persone senza alcun disturbo ansioso conclamato, le quali sembrerebbero percepire più facilmente che i loro muscoli si stanno irrigidendo durante posture e movimenti

prolungati nel tempo e, di conseguenza, tenderebbero a rilassare i muscoli che sono stati sovraccaricati, evitando l'incremento di tensione muscolare e del dolore che ne deriva.

A tal proposito, infatti, Flor e colleghi (1990) hanno studiato la relazione esistente tra tensione muscolare e dolore, nello specifico la capacità di discriminare la tensione muscolare e le sue implicazioni nell'insorgenza di dolore cronico.

Uno studio condotto da Pluess e colleghi (2009) ha proposto, inoltre, che la tensione muscolare potrebbe anche essere un modo per fronteggiare l'eccessiva eccitazione generata dall'ansia (Pluess, Conrad & Wilhelm, 2009); dunque, sembrerebbe che gli individui ansiosi tendano ad presentare un aumentato livello di tensione muscolare, probabilmente anche involontariamente e inconsapevolmente, con il fine di gestire e regolare gli aspetti emotivi associati a stati ansiosi e/o depressivi. In quest'ottica, si potrebbe ipotizzare che la tensione muscolare non sia tanto un sintomo primario dell'ansia e della preoccupazione eccessiva, bensì un sintomo secondario generato da una tensione muscolare prolungata al fine di diminuire i sintomi emotivi di ansia e stress. È evidente che non ci sia in letteratura una posizione totalmente condivisa circa il ruolo della tensione muscolare negli stati ansiosi e/o depressivi.

2.4 La valutazione della propriocezione

Come visto precedentemente, la capacità dell'individuo di percepire le informazioni propriocettive è associata ad aspetti importanti del controllo motorio e delle prestazioni e, non a caso, l'accuratezza propriocettiva è positivamente associata al rendimento sportivo negli atleti (Hillier, Immink & Thewlis, 2015). Di conseguenza, una peggiore accuratezza propriocettiva predice una maggiore probabilità di infortuni (Gandevia, 2014) e, dal momento che la precisione propriocettiva si deteriora con l'invecchiamento, potrebbe anche contribuire ad aumentare il rischio di cadute (Shumway-Cook & Woollacott, 2010). È stato inoltre dimostrato che gli individui fisicamente attivi sono caratterizzati da una migliore accuratezza propriocettiva e l'attività fisica può compensare l'impatto negativo dell'invecchiamento sull'accuratezza propriocettiva (Bullock-Saxton, Wong & Hogan, 2001). L'allenamento propriocettivo, inteso come un intervento che mira al miglioramento della funzione propriocettiva e

l'accuratezza propriocettiva (Tyson, Hanley, Chillala, Selley & Tallis, 2008), è un metodo efficace per prevenire gli infortuni e migliorare le prestazioni motorie.

Come già detto, testare l'acuità sensoriale di un individuo è l'obiettivo principale della psicofisica e le misure standard utilizzate per farlo furono descritte da Fechner già nel 1860, anno in cui pubblicò "*l'Elemente der Psychophysik*" (Fechner, 1860) in cui riportava i primi esperimenti sulla psicofisica del movimento attivo (Han, Waddington, Adams, Anson & Liu, 2016). Nel suo studio Fechner ha valutato la percezione delle differenze nella quantità di forza richiesta all'arto superiore per superare la gravità per sollevare pesi. Sulla scia di questo lavoro, McKeen Cattell e Munsterberg negli anni '80 dell'Ottocento furono i primi ad utilizzare il confronto dell'estensione di coppie di movimenti, effettuati senza segnali visivi, come metodo psicofisico sperimentale per studiare il movimento umano. Questo lavoro ha effettivamente rappresentato il primo studio sulla propriocezione, perché per confrontare delle coppie di movimenti attivi delle braccia, in assenza di segnali visivi, è necessario ricorrere a informazioni di natura propriocettiva per determinare la posizione degli arti. Questo studio è stato condotto, dunque, circa due decenni prima che venisse coniato il concetto di "propriocezione" dal fisiologo inglese Charles Sherrington.

I metodi classici utilizzati negli esperimenti psicofisici sono tre: il metodo dell'adattamento, il metodo dei limiti e il metodo degli stimoli costanti (Gescheider, 2013):

1. Nel metodo dell'adattamento, noto anche come metodo dell'errore medio, il partecipante deve controllare il livello di intensità dello stimolo, partendo con un livello che è chiaramente inferiore o maggiore di uno stimolo di riferimento, per poi regolare il livello fino a quando non percepisce una corrispondenza tra il livello dello stimolo e il livello dello stimolo di riferimento. La differenza tra lo stimolo regolabile e quello di riferimento viene registrato come errore del partecipante, e l'errore medio è indicato come misura della sensibilità.
2. Il metodo dei limiti, invece, può essere condotto in due modi differenti: o in modo ascendente o discendente. Nel primo caso, lo stimolo ha un livello di intensità così basso che non può essere rilevato dal partecipante. Dunque, il livello di stimolo viene gradualmente aumentato fino a quando il partecipante riferisce di poterlo

semplicemente percepire. Al contrario, nel metodo discendente dei limiti, la procedura è invertita.

3. Infine, nel metodo degli stimoli costanti, i livelli di intensità dello stimolo non sono presentati in un ordine sequenziale, ma piuttosto, in accoppiamenti con lo stimolo standard e vengono presentati al partecipante in modo casuale. Per ottenere una “soglia assoluta”, il partecipante è tenuto a segnalare se è in grado di rilevare lo stimolo, mentre per ottenere “soglie di differenza”, il partecipante deve effettuare un confronto tra lo stimolo costante e gli stimoli a ciascuno dei diversi livelli presentati.

Preso atto della crucialità del suo ruolo, l'accuratezza propriocettiva rappresenta, quindi, una caratteristica importante nella valutazione del funzionamento sensomotorio, ma, vista la complessità dei processi neurofisiologici che mediano la propriocezione, ad oggi non esiste una valutazione standard che sia ampiamente e completamente accettata della propriocezione (Horváth, Ferentzi, Schwartz, Jacobs, Meyns & Köteles, 2022).

Sappiamo che la propriocezione può essere misurata sia utilizzando dei test specifici, i quali si pongono l'obiettivo di valutare il senso della posizione articolare e la cinestesia attuali di un individuo (Röijezon et al., 2015), sia dei test non specifici nella pratica clinica, il cui utilizzo è atto a determinare il contributo dei segnali propriocettivi sul controllo dell'equilibrio. Ad esempio, i test di equilibrio funzionale possono essere utilizzati per fornire una stima dei potenziali disturbi propriocettivi (Aman et al., 2015). Il motivo per cui tali test sono considerati “non specifici” riguarda il fatto che coinvolgono tutto il corpo e altre funzioni sensoriali e motorie, così le prove di funzione motoria qualificate permettono di indicare il contributo del sistema propriocettivo nello svolgimento di molte attività della quotidianità (Stillman, 2002). Hillier e colleghi (2015) hanno condotto una revisione sistematica con l'obiettivo di identificare degli strumenti clinicamente correlati per misurare l'acuità propriocettiva e per classificare i costrutti misurati dagli strumenti. Dalle loro ricerche nei vari database, sono stati trovati ben 32 diversi strumenti/metodi per quantificare e misurare la propriocezione, identificando (Hillier et al., 2015) tre gruppi di metodi:

1. Il rilevamento della posizione articolare (attiva/passiva) (Active Joint position Detection/Passive Joint Position Detection, AJPD/PJPD);

2. Il rilevamento del movimento passivo (Passive Motion Detection Threshold) (PMDT);
3. La discriminazione della direzione del movimento passivo (Passive Motion Direction Discrimination) (PMDD).

La parte del corpo più comunemente misurata è risultata essere il ginocchio (11 test), in seguito sono stati individuati 4 test per la parte inferiore del tronco o per la schiena, poi 4 test per la caviglia e 2 distinti protocolli per il rachide cervicale. I compiti sono stati testati su popolazioni molto diverse: la maggior parte prevedeva come target adulti sani o usava adulti sani come gruppo di controllo. La maggior parte delle popolazioni “patologiche” prese in esame presentava problemi muscoloscheletrici come deficit del legamento crociato anteriore o dolore (Cignetti et al., 2013). Al contrario, le patologie neurologiche sono state rappresentate meno bene: sono stati usati quattro test per l'ictus e uno per ognuna delle seguenti condizioni: morbo di Parkinson, trauma cranico, paralisi cerebrale, neuropatia periferica e arti anestetizzati. Da questa revisione, si può dire che la maggior parte dei test utilizzati si propone di valutare il rilevamento della posizione dell'articolazione in modo attivo/passivo (AJPD/PJPD) attraverso attività di riconoscimento o riproduzione e, al contempo, viene misurato l'errore dell'angolo articolare (JAE), ossia la differenza tra l'angolo target del bersaglio e l'angolo riprodotto o l'angolo in cui è avvenuto il riconoscimento. Una significativa limitazione di questa revisione, però, è la definizione relativamente ristretta di propriocezione, infatti, Han e colleghi (2015) avevano definito l'accuratezza propriocettiva come la capacità di un individuo di integrare i segnali sensoriali provenienti dai meccanocettori allo scopo di determinare le posizioni dei segmenti corporei e i movimenti nello spazio. Questa descrizione, d'altra parte, esclude alcuni aspetti importanti della propriocezione, tra cui la tensione muscolare, la percezione di pesantezza, la forza. Non essendo presi in considerazione aspetti come la tensione muscolare, ad esempio, tra i metodi non c'è traccia del test di discriminazione della tensione muscolare (“*Discrimination of muscle tension test*”) (Flor et al., 1992) in cui all'individuo è richiesto di produrre diversi gradi di tensione muscolare, per andare ad indagare una specifica sub-modalità propriocettiva.

Pertanto, qualche anno dopo, Horváth e colleghi (2021) hanno condotto una revisione per poter introdurre e applicare un approccio più inclusivo alla propriocezione rispetto ai

documenti precedenti, necessario anche tenendo conto della crescente letteratura sulla propiocezione e dell'esigenza di coprire nuovi test sviluppati dopo la pubblicazione di precedenti revisioni. Horváth e colleghi hanno cercato di identificare e classificare i metodi sviluppati e utilizzati per misurare l'accuratezza propriocettiva in modo più completo rispetto al passato, scoprendo che le diverse sub-modalità propriocettive (la percezione della posizione articolare, il movimento e l'estensione del movimento, la traiettoria, la velocità e il senso della forza, la tensione muscolare, il peso e le dimensioni) dovrebbero essere misurate attraverso paradigmi diversi, poiché un test non necessariamente misura lo stesso costrutto. Sulla base di questa premessa, allora, bisognerebbe valutare e misurare la specifica sub-modalità propriocettiva. I metodi valutano otto diversi aspetti della propiocezione:

- (a) la percezione della posizione articolare;
- (b) il movimento e l'estensione del movimento;
- (c) la traiettoria;
- (d) la velocità;
- (e) il senso di forza;
- (f) la tensione muscolare;
- (g) il peso;
- (h) le dimensioni.

Non sono state riscontrate delle associazioni significative tra i risultati dei vari compiti utilizzati in relazione alle varie parti del corpo, dimostrando che l'accuratezza propriocettiva è caratterizzata da un'elevata sito-specificità e una consistente specificità del metodo: dunque, è necessario fare delle considerazioni teoriche e/o di validità ecologica per la scelta del metodo di misurazione appropriato. Nella revisione, sono stati utilizzati due criteri principali per classificare i metodi:

- Aspetto dell'accuratezza propriocettiva preso in considerazione e valutato;
- Approccio psicofisico applicato tra il metodo di adattamento, il metodo degli stimoli costanti e il metodo dei limiti (vedi Tabella 2.1).

Aspetto della propriocezione	Metodo di regolazione	Metodo degli stimoli costanti	Metodo dei limiti
Senso di posizione congiunta	Riproduzione della posizione articolare, puntando al bersaglio propriocettivo	Discriminazione della posizione congiunta	Soglia per il rilevamento del movimento passivo
Senso del movimento	Riproduzione del movimento	Discriminazione del movimento	
Senso di traiettoria	Riproduzione della traiettoria	N / A	
Senso di velocità	Riproduzione della velocità	Discriminazione di velocità	
Senso di forza	Riproduzione forzata, mantenere il livello di forza	Discriminazione forzata	N / A
Senso di tensione muscolare	Riproduzione della tensione muscolare	N / A	N / A
Senso del peso	N / A	Discriminazione del peso	N / A
Senso delle dimensioni	N / A	Discriminazione delle dimensioni	N / A

Tabella 2.1 Tabella riassuntiva delle tecniche di misurazione dell'accuratezza propriocettiva (Horváth et al., 2021).

**Abbreviazione: N/A = nessun metodo è disponibile.*

A questo punto, verranno descritte le differenti modalità di misurazione dell'accuratezza propriocettiva identificate utilizzando rispettivamente il metodo di regolazione, il metodo degli stimoli costanti e il metodo dei limiti.

Metodo di regolazione

Sono stati identificati le seguenti tipologie di misurazione dell'accuratezza propriocettiva utilizzando il metodo di regolazione (Horváth et al., 2021).

- Riproduzione della posizione articolare: i partecipanti hanno una o più articolazioni del loro corpo spostate in una posizione target. Gli viene chiesto di riprodurre la posizione della/e articolazione/i nel modo più accurato possibile. In diverse versioni di questo compito, il movimento può essere attivo o passivo e la riproduzione può avvenire con la stessa o con l'articolazione controlaterale;
- Riproduzione della traiettoria: una parte del corpo viene spostata lungo una determinata traiettoria. I partecipanti devono riprodurre la traiettoria del movimento con la stessa articolazione o con quella controlaterale;
- Riproduzione del movimento: una delle parti del corpo viene spostata attraverso una data traiettoria, con una data velocità, fino a un dato punto finale. I partecipanti sono tenuti a riprodurre sia la traiettoria sia la velocità sia il punto finale del movimento il più accuratamente possibile;
- Riproduzione della velocità: una parte del corpo è posizionata al fine di muoversi con una determinata velocità. Il compito del partecipante è quello di riprodurre la velocità con la stessa o con la parte del corpo controlaterale;
- Riproduzione della forza: il partecipante viene guidato a produrre un certo livello di forza con un muscolo o un gruppo muscolare. Dopo la produzione, gli viene chiesto di riprodurre la stessa forza con lo stesso muscolo o con quello controlaterale;
- Mantenimento del livello di forza: i partecipanti devono produrre una data quantità di forza (sotto-massimale) e mantenerla allo stesso livello;
- Riproduzione della tensione muscolare: al partecipante viene chiesto di produrre un determinato livello di tensione muscolare con un muscolo o un gruppo muscolare. Dopodiché, è necessario riprodurre lo stesso livello di tensione muscolare nel modo più accurato possibile.

Metodo degli stimoli costanti

Sono stati identificati sei diversi tipi di misurazione dell'accuratezza propriocettiva basati sul metodo degli stimoli costanti (Horváth et al., 2021).

- Discriminazione della posizione articolare: i partecipanti devono confrontare due posizioni articolari e decidere se queste sono uguali o diverse;
- Discriminazione del movimento: i partecipanti devono confrontare due movimenti (con una data traiettoria, velocità e punto finale) e decidere se sono uguali o diversi;
- Discriminazione della velocità: i partecipanti devono eseguire due velocità di movimento e decidere se sono uguali o diverse;
- Discriminazione della forza: i partecipanti devono produrre due volte un determinato livello di forza e decidere se si tratta di un livello di forze uguale o diverso;
- Discriminazione del peso: ai partecipanti vengono presentati due oggetti e gli viene chiesto di dire se questi fossero dello stesso peso o di un peso diverso;
- Discriminazione delle dimensioni: ai partecipanti vengono presentati due oggetti e devono decidere se questi sono della stessa dimensione o di dimensioni diverse.

Metodo dei limiti

È stata identificata una tecnica di misurazione dell'accuratezza propriocettiva ampiamente utilizzata, attraverso il metodo dei limiti, ossia la soglia al rilevamento del movimento passivo: durante questa procedura, una parte del corpo del partecipante viene spostata passivamente. Il compito consiste nel dare un segnale non appena viene percepito lo spostamento. Questo paradigma si basa sul metodo ascendente dei limiti (il livello degli stimoli aumenta gradualmente fino a quando non viene percepito), mentre non è stato trovato alcun esempio del metodo discendente per valutare l'accuratezza propriocettiva.

Quindi, la valutazione dell'accuratezza propriocettiva può essere resa operativa adottando approcci e paradigmi diversi. Se esistesse un'accuratezza propriocettiva

generalizzabile e se ogni test misurasse questa capacità generale, dovrebbe esistere una forte associazione tra i risultati ottenuti con diversi test per diverse parti del corpo. Si è visto che l'accuratezza propriocettiva è caratterizzata sia dalla specificità del sito di indagine che dalla specificità del metodo.

La Tabella 2.2 riassume gli studi che indagano la relazione tra i diversi test. Nessuno di loro ha riportato una correlazione significativa. Tale discordanza è ulteriormente supportata da studi che rivelano differenze specifiche del test in alcune capacità propriocettive. Ad esempio, Barrack e colleghi (1983) hanno scoperto che i ballerini hanno prestazioni peggiori rispetto ai controlli nel test di riproduzione della posizione articolare, ma sono migliori nella soglia di rilevamento del movimento passivo rispetto all'accuratezza propriocettiva dell'articolazione del ginocchio. È stato anche riferito che il test di riproduzione della forza, ma non il test di riproduzione della posizione articolare, sono correlati all'indice di instabilità della caviglia (Docherty, Arnold & Hurwitz, 2006) e alla rigidità della caviglia (Docherty, Arnold, Zinder, Granata & Gansneder, 2004).

Articolo	Prove utilizzate
(Grob et al., 2002)	Riproduzione della posizione articolare, soglia di rilevamento del movimento passivo
(Janwantanakul et al., 2003)	Riproduzione della posizione articolare, soglia di rilevamento del movimento passivo
(A. de Jong et al., 2005)	Discriminazione della posizione dell'articolazione, soglia di rilevamento del movimento passivo
(Elangovan et al., 2014)	Discriminazione della posizione congiunta, riproduzione della posizione congiunta
(Li et al., 2016)	Riproduzione della posizione articolare, soglia di rilevamento del movimento passivo, riproduzione della forza
(Nagai et al., 2016)	Riproduzione della posizione articolare, riproduzione della velocità, soglia di rilevamento del movimento passivo, riproduzione della forza

Articolo	Prove utilizzate
(Niespodziński et al., 2018)	Riproduzione della posizione articolare, riproduzione della forza
(Yang et al., 2020)	Discriminazione del movimento, riproduzione della posizione articolare
(Horváth et al., 2021)	Riproduzione della posizione articolare, discriminazione del peso

Tabella 2.2 Tabella riassuntiva degli studi che indagano l'associazione tra diversi test di accuratezza propriocettiva. Nessuno degli studi ha trovato un'associazione significativa tra di essi (Horváth et al., 2021).

Poiché l'accuratezza propriocettiva non è un'abilità generale, non può essere valutata con l'uso di un singolo test, quindi, si dovrebbe sempre scegliere un metodo che meglio si adatta alla ricerca o alla questione pratica in questione (Han, Waddington, Adams & Anson, 2013). Per i ricercatori, un compito importante per il futuro è trovare il metodo migliore per misurare l'accuratezza propriocettiva. Ci sono, dunque, una serie di fattori importanti da prendere in considerazione nella scelta del test appropriato per valutare l'accuratezza propriocettiva. Alcuni test richiedono intrinsecamente uno sforzo attivo da parte dei partecipanti (ad esempio, riproduzione e discriminazione della forza, riproduzione della tensione muscolare, discriminazione del peso), ma in altri casi (ad esempio, riproduzione della posizione articolare) il test può essere basato solo sul movimento passivo. Inoltre, va preso in considerazione che per alcuni gruppi di pazienti con disturbi del movimento, sono applicabili solo le versioni del movimento passivo. Pertanto, è importante considerare se sia più appropriato un test passivo, in cui i partecipanti non devono condurre movimenti o sforzi attivi, o un test attivo. A causa della stretta interazione tra gli aspetti di input e di output del controllo motorio (Cullen, 2004), il movimento attivo implica l'elaborazione di segnali sia afferenti (per esempio, il feedback dai fusi muscolari) che efferenti (cioè, la copia efferente del comando motorio). Pertanto, le persone tendono ad essere più precise quando l'attività muscolare attiva aumenta, ad esempio consentendo il movimento attivo o aumentando l'angolo di

elevazione dell'articolazione e il carico (Witchalls, Blanch, Waddington & Adams, 2012).

Una considerazione importante è la validità ecologica, ad esempio, quanto bene i diversi test riflettano gli effetti della lesione e dell'esperienza (Han et al., 2013). Da questo punto di vista, dovrebbero essere preferiti i test che coinvolgono il movimento attivo, poiché riflettono meglio le prestazioni dell'individuo nelle circostanze quotidiane. Importante per la scelta di un esame appropriato è che alcuni pazienti con disturbi del movimento potrebbero non essere in grado di spostare l'arto o l'articolazione fino a una posizione specifica, anche se avrebbe potuto essere possibile passivamente (ad esempio, l'arto superiore o inferiore colpito in pazienti con ictus unilaterale), e questo, inevitabilmente, influenzerà in maniera notevole i risultati del test di accuratezza propriocettiva.

Bisogna considerare se la riproduzione/confronto viene fatta con l'articolazione ipsilaterale o con quella controlaterale. La versione ipsilaterale vede coinvolta la memoria, mentre la versione controlaterale richiede il trasferimento interemisferico (Schwenkreis, Pleger, Höffken, Malin & Tegenthoff., 2001), quindi nei pazienti con significativa compromissione della memoria, la versione ipsilaterale è da evitare.

Un altro fattore importante che può influenzare l'esito della valutazione è il lato del corpo misurato, poiché potrebbero esserci differenze tra l'arto dominante e quello sotto-dominante nell'elaborazione delle informazioni propriocettive (Han et al., 2013). In altre parole, capacità e caratteristiche aggiuntive oltre all'elaborazione dei segnali propriocettivi possono avere un impatto sostanziale sulle prestazioni.

Per scegliere il metodo appropriato per misurare l'accuratezza propriocettiva, il primo passo è decidere quale aspetto della propriocezione si vuole valutare: il senso della posizione articolare, la traiettoria, la velocità, il movimento e l'estensione del movimento, la forza, la tensione muscolare, il peso o le dimensioni. Per i ricercatori, considerazioni teoriche possono guidare questa decisione, mentre per i professionisti, la validità ecologica può essere il fattore più importante.

CAPITOLO 3

La ricerca

3.1 Introduzione

A seguito di vari studi condotti sulla misurazione degli indici propriocettivi, Horváth e colleghi (2021) hanno cercato di classificare i metodi sviluppati e utilizzati per misurare la propriocezione in maniera più completa rispetto al passato, prendendo atto del fatto che ogni sub-modalità propriocettiva necessiterebbe di un paradigma ad hoc, poiché un test non necessariamente misura lo stesso costrutto. Sulla base di queste premesse, allora, bisognerebbe valutare e misurare la specifica sub-modalità propriocettiva. A tal proposito, è stato trovato in letteratura un solo compito atto a valutare l'aspetto propriocettivo di discriminazione della tensione muscolare. Come emerge dalla letteratura, la tensione muscolare, oltre ad essere una submodalità propriocettiva, rappresenta un sintomo somatico cruciale nei disturbi d'ansia, i quali sono spesso in comorbidità clinica con condizioni di stress e disturbi dell'umore, come la depressione.

Come alcune ricerche evidenziano (Pluess, Conrad & Wilhelm, 2009), ci si è chiesti come la tensione muscolare venga valutata e se tali valutazioni siano effettivamente valide e affidabili; a tal proposito, la maggior parte degli studi sulla tensione muscolare e sull'ansia si basano esclusivamente sull'autovalutazione o sulla misura fisiologica (EMG) rilevata in diverse condizioni. Sembra, dunque, che gli studi che si propongono di misurare la tensione muscolare da entrambi i punti di vista possano apportare delle informazioni più valide e garantire una valutazione maggiormente critica e completa.

Come già anticipato, in letteratura non è stata trovata una chiave di lettura condivisa circa la relazione tra tensione muscolare e stati ansiosi, depressivi e di stress; inoltre, è emerso che pochi studi hanno indagato la relazione tra la tensione muscolare e il possibile legame che intercorre tra questa submodalità propriocettiva, gli stati ansiosi, depressivi, di stress e gli aspetti di regolazione emozionale.

Il presente studio fa parte di uno studio di ricerca più ampio. L'obiettivo specifico dello studio riportato in questo elaborato è quello di indagare gli aspetti emozionali e di disregolazione autonoma che possono associarsi alla disfunzione percettiva di pazienti con cefalea primaria cronica e con dolore cronico diffuso. Si intende in questo modo anche contribuire alla formulazione di protocolli diagnostici più accurati, all'identificazione di eventuali fattori predittivi del mantenimento del dolore e alla progettazione di interventi mirati. Nello specifico, il presente studio si focalizza sugli aspetti di propriocezione e sul rapporto che intercorre tra questi e alcune variabili affettive (ansia, depressione, stress) e aspetti di disregolazione emozionale.

In particolare, lo studio si propone di ricreare e sviluppare il test di discriminazione della tensione muscolare sulla base di quello proposto da Flor e colleghi (1992), per testarlo su un gruppo di controlli sani. Dunque, si intende rilevare delle misure soggettive di propriocezione e comprendere come soggetti sani discriminano la tensione muscolare e, inoltre, di indagare la relazione tra le componenti propriocettive e gli aspetti di ansia, stress, depressione e disregolazione emozionale. Nello specifico, si ipotizza che una migliore prestazione al compito si associ a ridotti livelli di ansia, stress, depressione e ad una buona capacità di regolazione emozionale.

3.2 Metodo

3.2.1 Partecipanti

Il presente studio è stato sviluppato presso il Dipartimento di Psicologia Generale – Laboratorio di Psicofisiologia dell'Università degli Studi di Padova. È stato condotto su un campione di 49 studenti universitari (36 femmine e 13 maschi) sani.

I criteri di inclusione prevedevano:

- età compresa fra i 18 e i 65 anni;
- almeno 5 anni di scolarità;
- assenza di dolore cronico localizzato (cefalea cronica o episodica) o diffuso secondo i criteri diagnostici ICHD-3;
- assenza di condizioni cliniche tra cui disturbi neurologici (pregressi traumi cranici, disturbi neurologici degenerativi, ictus ecc.), disturbi cardiovascolari e disturbi psichiatrici (ad esempio depressione maggiore, psicosi ecc.);

- presenza di almeno un episodio di dolore acuto negli ultimi 6 mesi
- l'ottenimento del consenso informato di partecipazione allo studio.

Il campione di partenza era composto da 49 partecipanti, sei sono stati esclusi o per incompatibilità con i criteri di inclusione dello studio o per incompletezza della compilazione dei questionari somministrati o ancora per artefatti presenti nei segnali psicofisiologici registrati.

Il campione della ricerca, definitivamente, si componeva di 42 partecipanti, di cui 33 donne (79%) e 9 uomini (21%). Le caratteristiche del campione (vedi Tabella 3.1) sono le seguenti: l'età media \pm deviazione standard (DS) è $23,32 \pm 1,84$ (range 20-28 anni). La media \pm DS degli anni di scolarità dei partecipanti è $16,32 \pm 1,62$. Il campione è composto da 31 partecipanti fumatori (74%) e da 11 partecipanti non fumatori (26%).

È stato chiesto ai partecipanti di riferire una media \pm DS di ore di sonno giornaliera, pari a $7,29 \pm 1,30$. Inoltre, è stata anche indagata l'assunzione abituale (anche se in quantità variabili) di alcol e 25 partecipanti (60%) hanno riferito di assumerlo abitualmente, mentre 17 no (40%).

Variabili sociodemografiche	Media (DS) N = 42
Età	23,32 (1,84)
Anni di scolarità	16,32 (1,62)
Sesso	
Maschi (N, %)	9 (21)
Femmine (N, %)	33 (79)
Fumo (N, %)	
SI	11 (26)
NO	31 (74)
Ore di sonno	7,29 (1,30)
Assunzione di alcol (N, %)	
SI	25 (60)
NO	17 (40)

Tabella 3.1 *Informazioni sociodemografiche del campione di riferimento dello studio. La tabella mostra medie (M) e deviazioni standard (DS) del campione per quanto riguarda l'età, la scolarità, il sesso, abitudine del fumo, ore di sonno, assunzione di alcol.*

Il reclutamento è stato condotto tramite l'affissione di annunci nelle bacheche universitarie. I partecipanti hanno trovato sull'annuncio un link al quale collegarsi per poter procedere con la compilazione di una serie di questionari self-report, prima di recarsi presso il Laboratorio di Psicofisiologia per prendere parte alla seconda parte dello studio.

3.2.2 Materiali

Lo studio prevedeva un assessment multidimensionale, che comprendeva la somministrazione di questionari self-report, la misurazione e registrazione del segnale EMG e lo svolgimento di un compito di discriminazione della tensione muscolare.

Questionari self-report

Body perception questionnaire – short form (BPQ-SF, Porges, 1933; adattamento italiano di Poli et al., 2021)

Il BPQ-SF è una misura di autovalutazione della consapevolezza corporea e della reattività autonoma. Gli item di cui si compone si basano sull'organizzazione del sistema nervoso autonomo (SNA). Le vie neurali che compongono il SNA conducono informazioni provenienti dalla periferia circa lo stato degli organi e dei tessuti (proiezioni afferenti) e alcuni di questi segnali in arrivo rappresentano una base per la consapevolezza soggettiva del corpo. Il SNA trasporta anche dei segnali diretti alla periferia del corpo, i quali controllano le funzioni di organi e tessuti (proiezioni efferenti). Questi segnali possono generare un'alterazione nelle normali funzioni del corpo, sulla base di ciò che avviene nell'ambiente interno e esterno al soggetto. Grazie al questionario, dunque, vengono indagate le esperienze soggettive del corpo stesso, proponendosi come un indice degli aspetti enterocettivi e propriocettivi, i quali concorrono, insieme alle informazioni di natura esterocettiva, a generare il senso del proprio sé fisico e la propria

rappresentazione corporea. Il questionario si compone in totale di 22 item, con una scala di risposta Likert da 1 a 3 (dove 1 = “mai”, 2 = “occasionalmente” e 3 = “spesso”). Il BPQ-SF è costituito da 3 sotto-scale:

1. Body Awareness (BA): questa sotto-scala permette di indagare la consapevolezza corporea del soggetto, descrivendo la sensibilità ai propri segnali corporei;
2. Supradiaphragmatic Reactivity (SUPR): questa sotto-scala si riferisce alla componente sopradiaframmatica della reattività del sistema nervoso autonomo, ossia alla reattività degli organi al di sopra del diaframma (es. attività respiratoria, attività del cuore);
3. Subdiaphragmatic Reactivity (SUBR): questa sotto-scala si riferisce alla componente sottodiaframmatica della reattività del sistema nervoso autonomo, ossia alla reattività degli organi posti al di sotto del diaframma (es. attività intestinale).

La reattività sopradiaframmatica e la reattività sottodiaframmatica riflettono gli effetti del complesso vagale ventrale (VVC) e del complesso vagale dorsale (DVC). Secondo la teoria polivagale (Porges, 2009), il VVC comprende le vie efferenti che regolano i muscoli striati del viso e della testa, nonché gli organi al di sopra del diaframma, mentre il DVC contiene vie efferenti che originano dal nucleo motorio dorsale, regolando gli organi viscerali al di sotto del diaframma.

Depression and Anxiety Stress Scale (DASS-21; (Lovibond & Lovibond, 1995; (Bottesi et al., 2015).

Il questionario è composto da 3 sotto-scale che indagano rispettivamente gli stati emotivi di depressione, ansia e stress. La scala della depressione valuta la disforia, la disperazione, la svalutazione della vita, l'autoironia, la mancanza di interesse e coinvolgimento, l'anedonia e l'inerzia. La scala dell'ansia valuta l'eccitazione autonoma, gli effetti sui muscoli scheletrici, l'ansia situazionale e l'esperienza soggettiva dell'affetto ansioso. La scala dello stress è sensibile ai livelli di eccitazione cronica non specifica. Valuta la difficoltà a rilassarsi, l'eccitazione nervosa e l'essere facilmente turbati/agitati, irritabili/iperreattivi e impazienti. Il test è composto da un totale di 21 item, con una scala di risposta Likert da 0 a 3 (dove 0 = “non mi è mai accaduto” e 3 = “mi è capitato quasi sempre”). I punteggi di cut-off consigliati per le etichette di gravità sono i seguenti:

- Normale: punteggi da 0 a 9 per la depressione, da 0 a 7 per l'ansia e da 0 a 14 per lo stress;
- Lieve: punteggi da 10 a 13 per la depressione, 8-9 per l'ansia e da 15 a 18 per lo stress;
- Moderato: punteggi da 14 a 20 per la depressione, da 10 a 14 per l'ansia e da 19 a 25 per lo stress;
- Severo: punteggi da 21 a 27 per la depressione, da 15 a 19 per l'ansia e da 26 a 33 per lo stress;
- Estremamente severo: punteggi maggiori di 28 per la depressione, maggiori di 20 per l'ansia e maggiori di 34 per lo stress.

Difficulties in Emotional Regulation Scale (DERS); (Gratz & Roemer, 2004; versione italiana di (Sighinolfi et al., 2010).

Valuta le difficoltà nella regolazione emozionale, intesa come la capacità di regolare le emozioni, sia positive che negative, attenuandole, intensificandole o semplicemente mantenendole. La DERS è composta da 36 item, con una scala di risposta Likert da 1 a 5 (dove 1 = “quasi mai” e 5 = “quasi sempre”), che misurano caratteristici pattern di regolazione delle emozioni. Contiene 6 sotto-scale:

1. Non acceptance (non accettazione delle risposte emotive), formata dagli item che riflettono la tendenza a provare emozioni secondarie negative in risposta alle proprie emozioni negative, o ad avere reazioni di non accettazione rispetto al proprio disagio;
2. Goals (difficoltà ad adottare comportamenti orientati verso un obiettivo): comprende gli item che riflettono le difficoltà nel concentrarsi e nell'eseguire un compito quando si provano emozioni negative;
3. Impulse (difficoltà nel controllo degli impulsi), rileva le difficoltà nel mantenere il controllo del proprio comportamento quando si provano emozioni negative;
4. Awareness (mancanza di consapevolezza emotiva), che contiene item che sottolineano la tendenza a prestare attenzione alle emozioni e la relativa capacità di riconoscerle;
5. Strategies (accesso limitato alle strategie di regolazione emotiva), riflette la credenza secondo cui risulta particolarmente difficile regolare efficacemente le emozioni una volta che queste si sono manifestate;

6. Clarity (mancanza di chiarezza emotiva), che comprende gli item che riflettono il grado in cui le persone riescono a comprendere distintamente quale emozione stanno sperimentando.

Misure psicofisiologiche

È stato registrato l'elettromiogramma (EMG), rilevato dai muscoli frontale sinistro e dal muscolo bicipite sinistro, con specifiche di filtraggio impostate a 10 – 100 Hz e con una frequenza di campionamento impostata a 256 Hz. Per le procedure di rilevazione di tali segnali, totalmente indolori e non invasive, sono stati applicati degli elettrodi a livello dei muscoli frontale sinistro e del muscolo bicipite sinistro. La fase di montaggio degli elettrodi è stata preceduta da una meticolosa fase di pulizia della zona del corpo interessata con alcool e pasta dermoabrasiva al fine di rimuovere il sebo e lo strato corneo (cioè lo strato più superficiale di cellule morte). A questo punto, si procedeva con l'applicazione degli elettrodi in Ag/AgCl (argento cloruro d'argento), il cui interno è stato riempito con un gel elettroconduttore. In particolar modo:

- Per il muscolo frontale sinistro, sono stati applicati due elettrodi posti parallelamente all'andamento del muscolo.
- Per il muscolo bicipite sono stati ugualmente applicati due elettrodi parallelamente all'andamento del muscolo.

Come riferimento elettricamente neutro è stato applicato un elettrodo a livello dell'osso mastoide. La registrazione psicofisiologica è stata pianificata e controllata utilizzando l'amplificatore Flex Comp della Thought Technology LTD (Montreal West, QC, Canada).

Il test di discriminazione della tensione muscolare

Il test di discriminazione della tensione muscolare (Flor, Schugens & Birbaumer 1992), aveva una durata complessiva di 4 minuti e 30 secondi, durante il quale veniva richiesto di produrre diversi gradi di tensione muscolare.

Prima di iniziare il compito vero e proprio, ai partecipanti veniva chiesto di produrre il massimo livello di tensione muscolare (per 15 s) e poi di rilassare il muscolo il più

possibile (per 15 s) al fine di rilevare il range specifico per quel muscolo (cioè muscolo frontale sinistro o muscolo bicipite sinistro) per quello specifico partecipante. Successivamente, al partecipante veniva mostrata una schermata con due barre di riferimento, che rappresentano rispettivamente la tensione muscolare minima e la tensione muscolare massima (vedi Figura 3.1).

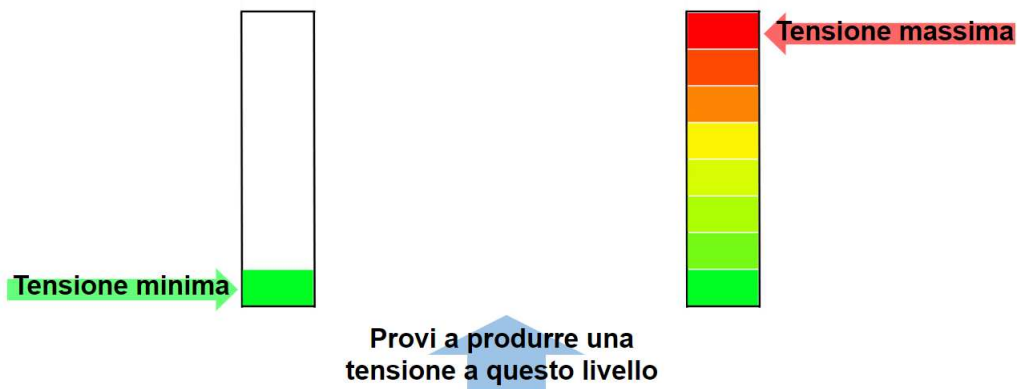


Figura 3.1 *Rappresentazione delle due barre che si presentano al partecipante dopo aver riprodotto il suo livello di tensione muscolare massima e il suo livello di tensione muscolare minimo al fine di identificare il range di riferimento di tensione muscolare del partecipante. Come si vede dall'immagine, a sinistra il partecipante potrà vedere il livello di tensione minima e a sinistra il livello di tensione massima.*

Il compito presentato è composto di 24 trial della durata di 5 s con un intervallo tra i trial di 5 s. Un trial inizia con la presentazione di tre barre verticali (una a destra, una a sinistra e una al centro) sullo schermo di fronte al partecipante. La barra di sinistra rappresenta la tensione minima prodotta da quel partecipante con quel muscolo, la barra di destra la tensione massima prodotta da quel partecipante con quel muscolo, mentre la barra al centro rappresenta il livello di tensione muscolare atteso per quel trial, o meglio quello che deve essere prodotto dal partecipante (vedi Figura 3.2). Questa barra può assumere otto livelli, dal minimo al massimo.

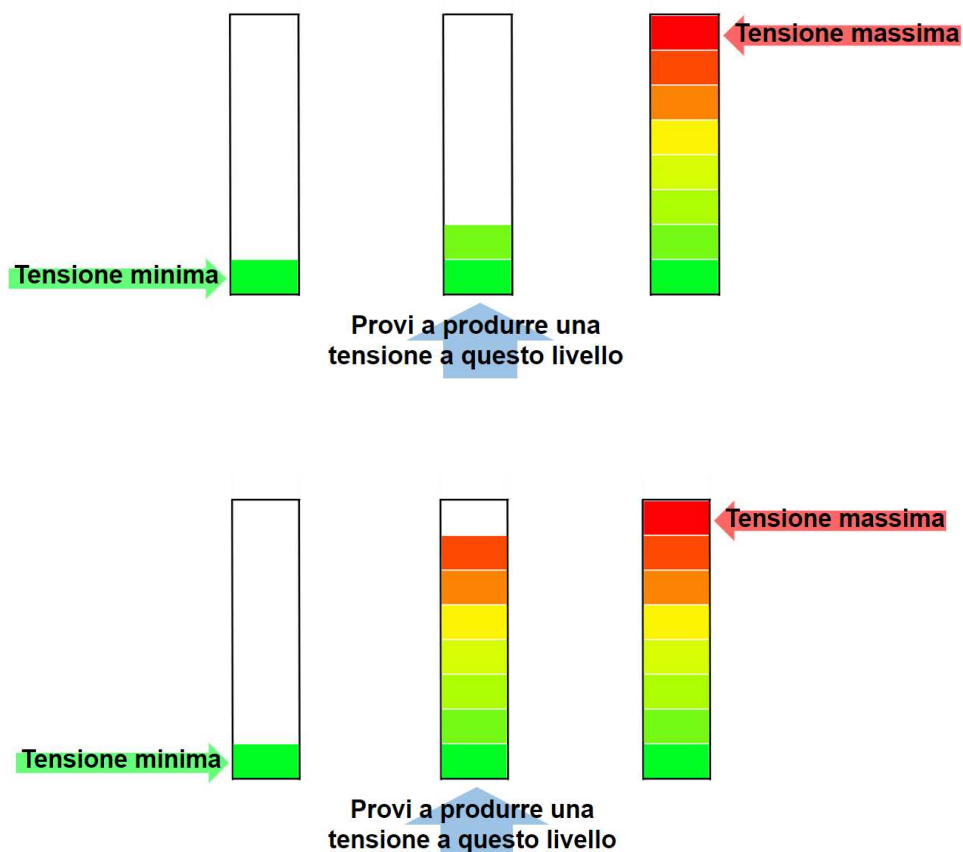


Figura 3.2 *Rappresentazione di due possibili livelli di tensione muscolare che al partecipante viene chiesto di riprodurre (barra al centro). Ai lati troviamo ancora le due barre che indicano rispettivamente il livello di tensione minima sulla sinistra e il livello di tensione massima a destra.*

I 24 trial includono la ripetizione per tre volte degli otto livelli di tensione muscolare attesa presentati in ordine quasi random. Al partecipante viene richiesto di produrre il livello di tensione muscolare atteso per 5 s, riposare per 5 s e, poi, segue un nuovo trial.

3.3 Procedura

Ai partecipanti, nella prima parte dello studio, è stato chiesto di compilare dei questionari self-report online e di accettare le condizioni poste dal consenso informato. Dopo aver svolto la parte online, ai partecipanti veniva chiesto di recarsi presso il Laboratorio di Psicofisiologia dell'Università degli Studi di Padova, previo appuntamento, per lo

svolgimento della seconda parte dello studio, che li ha visti impegnati per un tempo di 45 minuti circa. Una volta accolti in laboratorio, ai partecipanti è stata somministrata una intervista strutturata da parte del ricercatore per raccogliere informazioni di ordine sociodemografico. Successivamente, venivano fatti accomodare su una poltrona per poi procedere all'applicazione dei sensori per la registrazione del segnale EMG in corrispondenza del muscolo frontale sinistro e del muscolo bicipite sinistro. Il partecipante veniva fatto abituare al setting e posto in una condizione di ridotta illuminazione per facilitare il suo rilassamento. Dopo un periodo di abituação del partecipante, durante il quale veniva richiesto di respirare normalmente, di non incrociare le gambe e le braccia e di restare il più fermo possibile per evitare artefatti di registrazione, iniziava la registrazione di base (5 minuti) e successivamente veniva presentato il compito di discriminazione della tensione muscolare.

3.4 Riduzione dei dati e analisi statistiche

Il segnale EMG rilevato dai muscoli frontale sinistro e dal muscolo bicipite sinistro è stato rettificato e corretto per artefatti legati al movimento, artefatti di rete (il segnale è stato filtrato a 50 Hz). Successivamente seguendo la procedura suggerita da Flor et al., (1992) sono stati calcolati per ciascun partecipante e per ciascun gruppo muscolare i valori attesi per ciascuno degli otto livelli di tensione muscolare sulla base del range di tensione muscolare rilevato all'inizio del compito:

$$\left(\frac{[\text{tensione muscolare massima} - \text{tensione muscolare minima}]}{8} \right)$$

Quindi sono stati calcolati i livelli di tensione muscolare prodotta dal partecipante per ciascun gruppo muscolare per ciascuno degli otto livelli inclusi nel compito dalla media dei tre valori corrispondenti alle tre prove per ciascun livello di intensità (8 livelli di intensità; si veda descrizione del compito di discriminazione della tensione muscolare). Al fine di normalizzare la distribuzione, i valori di tensione muscolare attesa e prodotta sono stati sottoposti a trasformazione logaritmica. Infatti, facendo riferimento agli studi di Stilson et al. (1980), l'accuratezza della discriminazione della tensione muscolare è stata definita calcolando la correlazione tra il logaritmo del livello di tensione atteso [$\log(S)$; S = livello soggettivo] che il soggetto doveva produrre e il logaritmo del livello di tensione (EMG) effettivamente prodotto [$\log(\text{EMG})$] (Stilson et al., 1980). I logaritmi

dei livelli di tensione attesi e dei livelli di tensione effettivamente prodotti nelle 24 prove di cui il compito di comporre sono stati utilizzati per ridurre l'esponenziale a una funzione lineare (Stevens, 1961). Infine, è stata calcolata la correlazione R di Spearman tra il logaritmo dei valori attesi e il logaritmo dei valori prodotti di tensione muscolare per ciascun partecipante (Flor, 1992).

È stato effettuato lo scoring dei questionari self-report somministrati. Nello specifico, nel caso del test DASS-21 i punteggi per depressione, ansia e stress sono calcolati sommando i punteggi per le voci rilevanti e moltiplicandoli per 2 al fine di ottenere i punteggi finali. Per quanto riguarda il BPQ-SF, sono stati calcolati 3 punteggi differenti, ognuno per ogni sotto-scala. Dunque, è stato calcolato un punteggio per la consapevolezza corporea, dato dalla somma dei punteggi ottenuti agli item 1, 3, 6, 7, 8, 9 e 10, un punteggio per la reattività sopradiaframmatica, dato dalla somma dei punteggi ottenuti agli item 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18 e un punteggio per la reattività sottodiaframmatica, ottenuto sommando i punteggi ottenuti agli item 2, 4, 5, 19, 20, 21 e 22.

Infine, per il questionario DERS sono stati calcolati 6 punteggi, ognuno per ogni sotto-scala, sommando i punteggi ottenuti agli item che riflettono una specifica sotto-dimensione della regolazione emozionale e il punteggio DERS-Totale, sommando i punteggi di tutti i 36 item di cui si compone.

È stato effettuato un T-test a campioni appaiati per gli indici di discriminazione della tensione muscolare (calcolata come la correlazione tra livello di tensione muscolare attesa e livello di tensione muscolare prodotta rispettivamente nei muscoli frontale sinistro e nel muscolo bicipite sinistro) con l'obiettivo di indagare la differenza nella capacità di discriminazione della tensione muscolare nei due muscoli target (frontale sinistro e bicipite sinistro).

Al fine di osservare se vi fosse una relazione tra la prestazione dei partecipanti al compito e alcune variabili sociodemografiche è stata condotta un'analisi correlazionale (R di Pearson) tra gli indici di discriminazione della tensione muscolare e le variabili età, anni di scolarità, indice di massa corporea e media di ore di sonno.

Per indagare la possibile relazione tra la prestazione al compito e gli indici di propriocezione ed enterocezione, la sintomatologia ansiosa, il tono dell'umore, lo stress e la regolazione emozionale è stata condotta un'analisi correlazionale (R di Pearson) tra

gli indici di discriminazione della tensione muscolare e i punteggi alle sotto-scale dei questionari BPQ-SF, DASS-21 e DERS.

Infine, sono state svolte delle analisi correlazioni (R di Pearson) tra i punteggi ottenuti ai vari questionari somministrati ai partecipanti.

Tutte le analisi sono state eseguite utilizzando il programma *Jamovi* versione 1.6 (The jamovi project, 2021). Il *p-value* < 0,05 è stato considerato significativo.

CAPITOLO 4

Risultati

È stata calcolata la media e la DS (deviazione standard) (vedi Tabella 4.1) dei punteggi ottenuti al compito di discriminazione con il muscolo frontale sinistro ($M = 0,841$; $DS = 0,100$) e il muscolo bicipite sinistro ($M = 0,882$; $DS = 0,117$) (vedi Figura 3.3).

Indice di discriminazione della tensione muscolare	Media (DS) N = 42
Frontale	0,841 (0,100)
Bicipite	0,882 (0,117)

Tabella 4.1 Media e deviazione standard dei punteggi al compito di discriminazione della tensione muscolare somministrato ai partecipanti.

Dalle analisi è emerso che i punteggi al compito di discriminazione della tensione muscolare relativi al muscolo bicipite sinistro e al muscolo frontale sinistro non risultano essere statisticamente diversi ($t = -1,88$; $p = 0,067$).

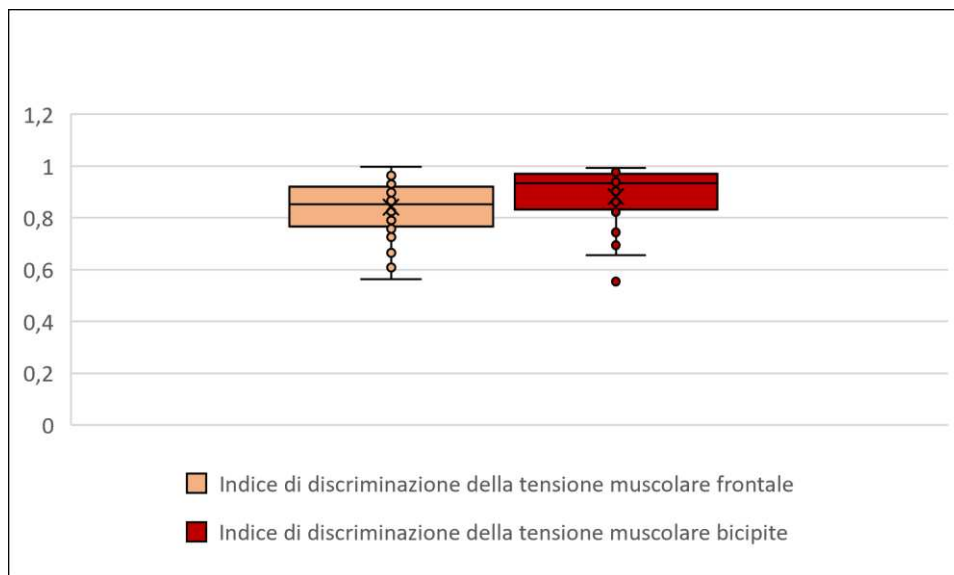


Figura 4.1 *Media e deviazione standard dei punteggi al compito di discriminazione della tensione muscolare rispettivamente con il muscolo frontale sinistro e il muscolo bicipite sinistro somministrato ai partecipanti.*

Dalle analisi correlazionali condotte per indagare la relazione tra i risultati al compito di discriminazione della tensione muscolare e le variabili sociodemografiche emerge che la capacità di discriminazione della tensione muscolare relativa al muscolo frontale sinistro correla positivamente con l'indice di massa corporea ($R = 0,366$; $p = 0,017$) e negativamente con la media di ore di sonno ($R = -0,336$; $p = 0,032$).

Dalle analisi correlazionali condotte tra i punteggi ottenuti al compito di discriminazione e quelli ottenuti ai questionari somministrati mettono in evidenza delle correlazioni significative negative (vedi Tabella 4.2) tra i punteggi ottenuti al compito con il muscolo bicipite e i punteggi del BPQ-SF riferiti alla componente sopradiaphragmatica della reattività del sistema nervoso autonomo ($R = -0,382$; $p = 0,012$) e tra i punteggi ottenuti al compito con il muscolo bicipite e i punteggi riferiti alla sottoscala dell'ansia del questionario DASS-21 ($R = -0,397$; $p = 0,009$).

		Indice di discriminazione della tensione muscolare frontale		Indice di discriminazione della tensione muscolare bicipite	
		R	<i>p</i>	R	<i>p</i>
	Body Awareness	0,15	0,328	-0,19	0,236
	Supradiaphragmatic	0,18	0,245	-0,38	0,012
BPQ	Reactivity				
	Subdiaphragmatic	-0,06	0,69	-0,29	0,067
	Reactivity				
	Ansia	0,09	0,564	-0,4	0,009
DASS21	Depressione	0,13	0,401	-0,11	0,491
	Stress	0,1	0,522	-0,1	0,54
	Non acceptance	0,01	0,975	-0,03	0,856
DERS	Goals	0,02	0,92	0,02	0,886

Impulse	0,08	0,612	-0,09	0,567
Awareness	-0,1	0,527	0,23	0,141
Strategies	0,02	0,902	-0,15	0,351
Clarity	-0,04	0,785	-0,15	0,329
Totale	0,01	0,971	-0,05	0,733

Tabella 4.2 *Risultati dell'analisi correlazionale condotta tra i punteggi ottenuti al compito di discriminazione e quelli ottenuti ai questionari somministrati. Sono evidenziate nella tabella le correlazioni che risultano statisticamente significative ($p < 0,05$).*

Dalle analisi correlazionali condotte tra i punteggi ottenuti ai questionari somministrati (vedi Tabella 4.3), sono emerse delle correlazioni significative tra i punteggi registrati alla sotto-scala del DASS-21 che indaga la presenza di stati ansiosi, quelli ottenuti alla i punteggi di “reattività sopradiaframmatica” del BPQ ($R = 0,700$; $p < 0,001$) e alla sotto-scala del BPQ che, invece, indaga la reattività autonomia sottodiaframmatica ($R = 0,344$; $p = 0,026$).

È emersa una correlazione positiva significativa tra i punteggi registrati alla sotto-scala del DASS-21 che indaga la presenza di stati depressivi e quelli di “reattività sopradiaframmatica” del BPQ ($R = 0,309$; $p = 0,046$) e una tra i livelli di stress e i punteggi di “reattività sopradiaframmatica” del BPQ ($R = 0,514$; $p < 0,001$). Sono emerse delle correlazioni significative tra i punteggi di “non accettazione delle risposte emotive” del questionario DERS e i punteggi di “reattività sopradiaframmatica” del BPQ ($R = 0,389$; $p = 0,011$) e i punteggi di “ansia” ($R = 0,367$; $p = 0,017$), “depressione” ($R = 0,330$; $p = 0,033$) e “stress” ($R = 0,454$; $p = 0,003$) del DASS-21. Sono significative anche le correlazioni tra i punteggi di “difficoltà ad adottare comportamenti orientati verso un obiettivo” del DERS, quelli di “reattività sopradiaframmatica” del BPQ ($R = 0,328$; $p = 0,034$) e i punteggi di “ansia” ($R = 0,317$; $p = 0,041$) e “stress” ($R = 0,411$; $p = 0,007$) del DASS-21.

È emersa una correlazione significativa tra i punteggi di “difficoltà nel controllo degli impulsi” e i punteggi di “reattività sopradiaframmatica” del BPQ ($R = 0,571$; $p < 0,001$) e i punteggi di “ansia” ($R = 0,530$; $p < 0,001$), “depressione” ($R = 0,421$; $p = 0,006$) e

“stress” ($R = 0,381$; $p < 0,013$) del DASS-21. Anche i punteggi di “accesso limitato alle strategie di regolazione emotiva” del DERS correlano significativamente con i punteggi di “reattività sopradiaframmatica” ($R = 0,413$; $p = 0,007$) del BPQ e i punteggi di “ansia” ($R = 0,518$; $p < 0,001$), “depressione” ($R = 0,462$; $p < 0,002$) e “stress” ($R = 0,492$; $p < 0,001$) del DASS-21. Infine, è emersa una correlazione significativa tra i punteggi di “mancanza di chiarezza emotiva” del DERS e i punteggi di “reattività sopradiaframmatica” ($R = 0,498$; $p < 0,001$) del BPQ e i punteggi di “ansia” ($R = 0,502$; $p < 0,001$), “depressione” ($R = 0,443$; $p = 0,003$) e “stress” ($R = 0,479$; $p = 0,001$) del DASS-21.

	Body Awareness (BA)		Supradiaphragmatic Reactivity (SUPR)		Subdiaphragmatic Reactivity (SUBR)		DASS21 Ansia		DASS21 Depressione		DASS21 Stress	
	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p
BPQ BA	—	—										
BPQ SUPR	0,19	0,224	—									
BPQ SUBR	0,64	<.001	0,26	0,103	—							
DASS21 Ansia	0,1	0,512	0,7	<.001	0,34	0,026	—					
DASS21 Depressione	-0,16	0,315	0,31	0,046	-0,13	0,419	0,55	<.001	—			
DASS21 Stress	0,03	0,845	0,51	<.001	0,2	0,2	0,68	<.001	0,61	<.001	—	
DERS Non acceptance	-0,13	0,421	0,39	0,011	0,09	0,583	0,37	0,017	0,33	0,033	0,45	0,003
DERS Goals	-0,03	0,85	0,33	0,034	0,26	0,103	0,32	0,041	0,26	0,099	0,41	0,007
DERS Impulse	0,03	0,827	0,57	<.001	0,22	0,154	0,53	<.001	0,42	0,006	0,38	0,013
DERS Awareness	-0,23	0,142	-0,1	0,514	-0,23	0,144	-0,07	0,644	0,03	0,872	-0,12	0,459

DERS Strategies	-0,09	0,579	0,41	0,007	0,18	0,261	0,52	<.001	0,46	0,002	0,49	<.001
DERS Clarity	0,01	0,947	0,48	0,001	0,14	0,374	0,39	0,01	0,33	0,035	0,31	0,046
DERS Totale	-0,1	0,539	0,5	<.001	0,17	0,289	0,5	<.001	0,44	0,003	0,48	0,001

Tabella 4.3 Risultati delle analisi correlazionali (R di Pearson) condotte tra i punteggi ottenuti ai vari questionari somministrati. La tabella mette in evidenza la relazione esistente tra gli indici soggettivi di propriocezione ed enterocezione (BPQ), gli stati di ansia, depressione, stress (DASS21) e gli aspetti di regolazione emozionale. Sono evidenziati i risultati statisticamente significativi ($p < 0,05$).

CAPITOLO 5

Discussione

Il presente studio aveva lo scopo di sviluppare e riprodurre il test di discriminazione della tensione muscolare su un gruppo di controlli sani, a partire dal compito proposto da Flor e colleghi (1992), al fine di indagare la relazione tra come soggetti sani discriminano la tensione muscolare con due muscoli target, ossia il muscolo frontale sinistro e il bicipite sinistro e aspetti di propriocezione soggettiva, ansia, stress, depressione e regolazione emozionale. È stato ipotizzato, infatti, che coloro che mostravano bassi livelli di ansia riuscissero a discriminare meglio il livello di tensione muscolare nel compito proposto e che, di conseguenza, una migliore prestazione al compito si associasse a ridotti livelli di ansia, di depressione, di stress e ad una buona capacità di regolazione emozionale.

Le analisi condotte per confrontare i punteggi ottenuti al compito di discriminazione della tensione muscolare non mostrano dei risultati statisticamente significativi; infatti, non emergono delle differenze rispetto ai punteggi registrati con il muscolo bicipite sinistro e il muscolo frontale sinistro. I risultati ottenuti dallo studio risultano essere in linea con il range di punteggi riportati dallo studio condotto da Flor et al. (1992) per il gruppo di controlli sani; infatti, tali risultati sembrano confermare l'ipotesi per cui soggetti sani, senza alcuna patologia che possa coinvolgere deficit propriocettivi di discriminazione della tensione muscolare, come disturbi associati al dolore cronico (cefalea tensiva cronica, dolore lombare, fibromialgia), non presentino delle differenze significative rispetto alla discriminazione della tensione muscolare con due muscoli differenti.

Emerge inoltre come una miglior prestazione al compito di discriminazione con il muscolo frontale sia associata ad un BMI più elevato. Potremmo ipotizzare che un BMI eccessivamente basso sia associato ad una minore massa muscolare, ad alterazioni del tono muscolare e, eventualmente, a maggiori difficoltà nella discriminazione della tensione muscolare.

A questo proposito, alcuni studi (de Jong, 2000) mostrano che quando una condizione di perdita di appetito e/o di inattività fisica, in presenza di una diminuzione dell'introito calorico complessivo, di carenze nutrizionali, di perdita di peso e alterazioni a livello della composizione corporea e ossea, si protrae nel tempo, clinicamente, si osserva una

deplezione delle riserve adipose e della massa muscolare. Questi risultati potrebbero supportare i risultati evidenziati dal presente studio, ma, non disponendo il nostro campione di soggetti sottopeso o sovrappeso, tale ipotesi andrebbe studiata e approfondita da altri studi in futuro.

Al contempo, dai risultati emerge che una maggiore media di ore di sonno si associa ad una miglior prestazione con il muscolo frontale al compito di discriminazione. In tal caso, potremmo ipotizzare che una insufficiente quantità di sonno o problemi di insonnia (spesso presenti a livello sintomatologico nei disturbi d'ansia e legati allo stress) possano influenzare negativamente gli aspetti e le capacità propriocettivi. Infatti, a tal proposito, si possono menzionare gli studi di Hoehn-Saric e Masek (1981), i quali hanno riscontrato che i pazienti con un disturbo d'ansia generalizzata che riferiscono ansia presentano prevalentemente a livello fisiologico un sonno disturbato e un aumento della tensione muscolare piuttosto che i tipici sintomi conseguenti ad un'attivazione autonoma simpatica. Questi risultati sono supportati da un altro studio (Hoehn-Saric et al., 1989) in cui i pazienti con un disturbo d'ansia generalizzata mostravano delle differenze durante i periodi di riposo rispetto ai controlli sani in termini di tensione muscolare.

Oltretutto, è opportuno menzionare gli studi condotti da Dattilo et al. (2012) con l'obiettivo di indagare la relazione tra sonno e atrofia muscolare. I risultati dello studio propongono che la privazione del sonno nei ratti causa una riduzione della massa muscolare; è stata riscontrata, negli animali privati del sonno, una maggior secrezione di un ormone catabolico e una ridotta secrezione di un ormone anabolico. Questo pattern ormonale potrebbe avere un impatto sull'equilibrio tra sintesi proteica e degradazione proteica, causando così perdita di massa muscolare. Delle alterazioni di natura ormonali simili sono state trovate anche in essere umani in una condizione di privazione del sonno o riduzione delle ore di sonno, con una conseguente atrofia muscolare. Poiché, ad oggi, è molto frequente che le persone dormano meno ore, ad esempio, per via di stili di vita particolarmente difficili e impegnativi da sostenere o per via di alcune condizioni mediche (invecchiamento, insonnia e disturbi del sonno), è opportuno che studi futuri studino meglio la relazione tra sonno, malnutrizione, massa muscolare al fine di predisporre dei protocolli d'intervento funzionali in ottica di promozione del benessere della persona a 360°.

Tornando allo studio oggetto dell'elaborato, i risultati supportano l'ipotesi di una relazione tra aspetti ansiosi e prestazione al compito, infatti, a maggiori livelli di ansia si associa una prestazione peggiore al compito con il muscolo bicipite. A questo proposito, studi futuri dovrebbero testare l'ipotesi secondo cui i soggetti ansiosi mostrerebbero una ridotta capacità di discriminare i livelli di contrazione muscolare rispetto a dei soggetti sani, così come Flor et al. (1992), con i loro esperimenti di ricerca, hanno evidenziato delle differenze significative nella capacità di discriminare i livelli di tensione muscolare tra pazienti che soffrono di problemi di dolore muscoloscheletrico cronico (mal di schiena cronico o dolore temporo-mandibolare) e controlli sani.

È emerso, inoltre, che una maggiore reattività sopradiaframmatica del sistema nervoso autonomo è associata ad una peggiore prestazione al compito di discriminazione della tensione muscolare con il muscolo bicipite. Dai risultati, dunque, è emerso che ansia, stress e depressione si associano agli indici soggettivi di propriocezione ed enterocezione. I risultati mostrano, per di più, che difficoltà sperimentate dal soggetto nella regolazione emozionale si associano ad ansia, stress, depressione e ad una maggior reattività sopradiaframmatica. Considerati nel loro insieme, tali risultati supportano, dunque, l'ipotesi secondo cui intercorre una relazione inversa tra gli aspetti di ansia, stress, depressione, regolazione emozionale e gli indici soggettivi di propriocezione ed enterocezione. Studi futuri potrebbero mirare a una migliore comprensione delle relazioni tra ansia, preoccupazione, stress, regolazione emozionale e tensione muscolare, manipolando questi fattori in modo indipendente, al fine di chiarire in modo si combinano tra loro e in che misura interagiscono per generare la sintomatologia di disturbi come il disturbo d'ansia generalizzata, di cui la tensione muscolare rappresenta il sintomo somatico cruciale.

Il presente studio ha alcuni limiti: innanzitutto, la numerosità del campione risulta ridotta, dunque, bisogna prestare attenzione a generalizzare tali risultati; per migliorare il presente studio è possibile ampliare la numerosità del campione.

La valutazione è stata condotta esclusivamente sul campione di soggetti sani, mentre risulta assente un gruppo sperimentale. Relativamente all'aspetto di applicazione clinica, dunque, è auspicabile che vengano svolti compiti psicofisiologici come quello presentato e un'approfondita valutazione soggettiva degli aspetti propriocettivi per migliorare i protocolli diagnostico-valutativi di patologie in cui ci si aspetterebbe una compromissione

delle capacità propriocettive (disturbi d'ansia, dell'umore, correlati allo stress, associati al dolore cronico) e, eventualmente, il trattamento. Infatti, in studi futuri, le misurazioni EMG andrebbero condotte più accuratamente e servendosi di più siti di rilevazione (fronte, collo, due spalle, due gambe e due avambracci), idealmente ricavate sia da contesti sperimentali (in laboratorio) sia da contesti reali per una maggior validità ecologica (realtà ambulatoriali). Inoltre, gli item self-report di cui si compongono i questionari somministrati volti ad indagare anche l'aspetto di tensione muscolare devono essere formulati in modo molto specifico, identificando chiaramente i muscoli che i pazienti descrivono come fisicamente tesi, evitando così ambiguità nell'interpretazione. Pertanto, studi futuri dovranno verificare e migliorare l'efficacia e l'affidabilità di questi strumenti.

Le analisi condotte sono di tipo correlazionale, non è quindi possibile inferire un rapporto di causalità tra le variabili considerate. Per studiare l'aspetto di causazione si potrebbe pensare di indurre uno stato ansioso e/o di stress: studi futuri potrebbero valutare e misurare la capacità di discriminazione propriocettiva, successivamente indurre uno stato ansioso e di stress, servendosi dei test da stress presenti in letteratura (es. Trier Social Stress Test, Kirschbaum et al., 1993, molto utilizzato nel caso del disturbo d'ansia sociale), e, infine, misurare nuovamente la capacità di discriminazione dei partecipanti per valutare se lo stato di stress e ansia indotto ha modificato effettivamente la prestazione dei partecipanti e influito sulle loro capacità propriocettive.

CONCLUSIONI

Il presente studio ha mostrato che il compito di discriminazione della tensione muscolare messo a punto nel 1992 da Flor et al. è riproducibile e fattibile, proponendo dei risultati simili a quelli ottenuti nello studio di Flor et al. in termini di range di punteggi ottenuti dal gruppo di controlli sani. Dunque, questo compito potrebbe essere utilizzato anche da ricercatori che, nei loro futuri studi, si propongono di studiare e approfondire l'aspetto propriocettivo di tensione muscolare (ancora poco studiato ad oggi, come evidenzia la letteratura) in gruppi di controllo e gruppi sperimentali.

Inoltre, lo studio ha evidenziato un'associazione tra aspetti propriocettivi e aspetti di ansia, stress, depressione e regolazione emozionale nel gruppo di controlli sani, suggerendo una direzione per gli studi futuri in questo senso su gruppi di soggetti con patologie e/o disturbi in cui sono ipotizzabili e/o presenti delle compromissioni di natura propriocettiva. Infine, l'associazione emersa tra la prestazione al compito di discriminazione della tensione muscolare e gli aspetti di ansia, stress, depressione e regolazione emozionale potrebbe far pensare ad una ridotta capacità di discriminare la tensione muscolare in soggetti con disturbi d'ansia, dell'umore, correlati allo stress, caratterizzati, come la letteratura mostra, dalla presenza di disregolazione emozionale. Pertanto, studi futuri potrebbero testare il compito di discriminazione della tensione muscolare proposto dall'elaborato su un gruppo di soggetti con disturbi ansiosi, depressivi, correlati allo stress conclamati per indagare un'effettiva compromissione delle capacità di discriminazione propriocettiva.

BIBLIOGRAFIA

- Ager, A. L., Borms, D., Deschepper, L., Dhooghe, R., Dijkhuis, J., Roy, J. S., & Cools, A. (2020). Proprioception: How is it affected by shoulder pain? A systematic review. *Journal of Hand Therapy*, 33(4), 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2019.06.002>
- Alloatti, G., Antonutto, G., Bottinelli, R., Cevese, A., Concu, A., Conti, F., de Lorenzo, A., & et al. (2002). Sensibilità somatica e dolore. In Ermes (A c. Di), *Fisiologia dell'uomo*.
- Althaus, M., Bogdan, R., Clauss, W. G., & Fronius, M. (2007). Mechano-sensitivity of epithelial sodium channels (ENaCs): laminar shear stress increases ion channel open probability. *The FASEB Journal*, 21(10), 2389–2399. <https://doi.org/10.1096/fj.06-7694com>
- Aman, J. E., Elangovan, N., Yeh, I.-L., & Konczak, J. (2015). The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: a systematic review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01075>
- Anastasi, G., Cannas, M., Cavaletti, G., Cinti, S., Cremona, O., D'Agata, V., De Caro R., et al. (2020). *Trattato di anatomia umana sistematica e funzionale* (Edi-Ermes, A c. Di; Vol. 3).
- Appelbaum, K. A., Blanchard, E. B., & Andrasik, F. (1984). Muscle discrimination ability at three muscle sites in three headache groups. *Biofeedback and Self-Regulation*, 9(4), 421–430. <https://doi.org/10.1007/BF01000559>
- Armstrong, B., McNair, P., & Taylor, D. (2008). Head and Neck Position Sense. *Sports Medicine*, 38(2), 101–117. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838020-00002>
- Ashburn, A., Fazakarley, L., Ballinger, C., Pickering, R., McLellan, L. D., & Fitton, C. (2007). A randomised controlled trial of a home based exercise programme to reduce the risk of falling among people with Parkinson's disease. *Journal of Neurology*,

Neurosurgery and Psychiatry, 78(7), 678–684.

<https://doi.org/10.1136/jnnp.2006.099333>

Assaraf, E., Blecher, R., Heinemann-Yerushalmi, L., Krief, S., Carmel Vinestock, R., Biton, I. E., Brumfeld, V., Rotkopf, R., Avisar, E., Agar, G., & Zelzer, E. (2020). Piezo2 expressed in proprioceptive neurons is essential for skeletal integrity. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16971-6>

Aydoğ, S. T., Korkusuz, P., Doral, M. N., Tetik, O., & Demirel, H. A. (2006). Decrease in the numbers of mechanoreceptors in rabbit ACL: The effects of ageing. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 14(4), 325–329. <https://doi.org/10.1007/s00167-005-0673-2>

Bennell, K. L., Hinman, R. S., Metcalf, B. R., Crossley, K. M., Buchbinder, R., Smith, M., & McColl, G. (2003). Relationship of knee joint proprioception to pain and disability in individuals with knee osteoarthritis. *Journal of Orthopaedic Research*, 21(5), 792–797. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(03\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(03)00054-8)

Berlucchi, G., & Aglioti, S. M. (2010). The body in the brain revisited. *Experimental Brain Research*, 200(1), 25–35. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1970-7>

Bewick, G. S., & Banks, R. W. (2015). Mechanotransduction in the muscle spindle. In *Pflugers Archiv European Journal of Physiology* (Vol. 467, Issue 1, pagg. 175–190). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s00424-014-1536-9>

Blanche, E. I., Bodison, S., Chang, M. C., & Reinoso, G. (2012). Development of the Comprehensive Observations of Proprioception (COP): Validity, reliability, and factor analysis. *The American Journal of Occupational Therapy*, 66(6), 691–698.

Bottesi, G., Ghisi, M., Altoè, G., Conforti, E., Melli, G., & Sica, C. (2015). The Italian version of the Depression Anxiety Stress Scales-21: Factor structure and

- psychometric properties on community and clinical samples. *Comprehensive Psychiatry*, 60, 170–181. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2015.04.005>
- Breivik, H., Collett, B., Ventafridda, V., Cohen, R., & Gallacher, D. (2005). *Survey of chronic pain in Europe: Prevalence, impact on daily life, and treatment*. <https://doi.org/10.1016/j.ejpain.2005.06.009>
- Brumagne, S., Cordo, P., & Verschueren, S. (2004). Proprioceptive weighting changes in persons with low back pain and elderly persons during upright standing. *Neuroscience Letters*, 366(1), 63–66. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2004.05.013>
- Bullock-Saxton, J. E., Wong, W. J., & Hogan, N. (2001). The influence of age on weight-bearing joint reposition sense of the knee. *Experimental Brain Research*, 136(3), 400–406. <https://doi.org/10.1007/s002210000595>
- Campbell William. W., & DeJong Russell N. (2005). *DeJong's The Neurologic Examination* (Lippincott Williams & Wilkins, A c. Di; 6°).
- Chen, C. C., & Wong, C. W. (2013). Neurosensory mechanotransduction through acid-sensing ion channels. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 17(3), 337–349. <https://doi.org/10.1111/jcmm.12025>
- Cignetti, F., Caudron, S., Vaugoyeau, M., & Assaiante, C. (2013). Body Schema Disturbance in Adolescence: From Proprioceptive Integration to the Perception of Human Movement. *Journal of Motor Learning and Development*, 1(3), 49–58. <https://doi.org/10.1123/jmld.1.3.49>
- Cobo, R., García-Piqueras, J., García-Mesa, Y., Feito, J., García-Suárez, O., & Vega, J. A. (2020). Peripheral mechanobiology of touch—studies on vertebrate cutaneous sensory corpuscles. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 21, Issue 17, pagg. 1–17). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms21176221>

- Cullen, K. E. (2004). Sensory signals during active versus passive movement. *Current Opinion in Neurobiology*, 14(6), 698–706. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2004.10.002>
- Dakin, C. J., & Bolton, D. A. E. (2018). Forecast or Fall: Prediction's Importance to Postural Control. *Frontiers in Neurology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00924>
- Dattilo, M., Antunes, H. K. M., Medeiros, A., Mônico-neto, M., Souza, H. de S., Lee, K. S., Tufik, S., & de Mello, M. T. (2012). Paradoxical sleep deprivation induces muscle atrophy. *Muscle & Nerve*, 45(3), 431–433. <https://doi.org/10.1002/mus.22322>
- De Caro, R. (2020). *Lezioni di neuroanatomia* (CLEUP, A c. Di; 2°).
- de Jong, A., Kilbreath, S. L., Refshauge, K. M., & Adams, R. (2005). Performance in Different Proprioceptive Tests Does Not Correlate in Ankles With Recurrent Sprain. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(11), 2101–2105. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.05.015>
- de Jong, N. (2000). Nutrition and senescence: healthy aging for all in the new millennium? *Nutrition*, 16(7–8), 537–541. [https://doi.org/10.1016/S0899-9007\(00\)00317-8](https://doi.org/10.1016/S0899-9007(00)00317-8)
- de Vignemont, F. (2010). Body schema and body image—Pros and cons. *Neuropsychologia*, 48(3), 669–680. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.09.022>
- Delmas, P., & Coste, B. (2013). Mechano-Gated Ion Channels in Sensory Systems. *Cell*, 155(2), 278–284. <https://doi.org/10.1016/J.CELL.2013.09.026>

- Descarreaux, M., Blouin, J.-S., & Teasdale, N. (2004). Force Production Parameters in Patients With Low Back Pain and Healthy Control Study Participants. *Spine*, 29(3), 311–317. <https://doi.org/10.1097/01.BRS.0000105983.19980.A8>
- Desrosiers, J., Bourbonnais, D., Bravo, G., Roy, P.-M., & Guay, M. (1996). Performance of the ‘Unaffected’ Upper Extremity of Elderly Stroke Patients. *Stroke*, 27(9), 1564–1570. <https://doi.org/10.1161/01.STR.27.9.1564>
- Dietz, V. (2002). Proprioception and locomotor disorders. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(10), 781–790. <https://doi.org/10.1038/nrn939>
- Elangovan, N., Herrmann, A., & Konczak, J. (2014). Assessing Proprioceptive Function: Evaluating Joint Position Matching Methods Against Psychophysical Thresholds. *Physical Therapy*, 94(4), 553–561. <https://doi.org/10.2522/ptj.20130103>
- Fechner, G. T. (1860). Elements of psychophysics, 1860. In *Readings in the history of psychology*. (pagg. 206–213). Appleton-Century-Crofts. <https://doi.org/10.1037/11304-026>
- Findlater, S. E., Desai, J. A., Semrau, J. A., Kenzie, J. M., Rorden, C., Herter, T. M., Scott, S. H., & Dukelow, S. P. (2016). Central perception of position sense involves a distributed neural network – Evidence from lesion-behavior analyses. *Cortex*, 79, 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.03.008>
- Flor, H., Birbaumer, N., & Turk, D. C. (1990). The psychobiology of chronic pain. *Advances in Behaviour Research and Therapy*, 12(2), 47–84. [https://doi.org/10.1016/0146-6402\(90\)90007-D](https://doi.org/10.1016/0146-6402(90)90007-D)
- Flor, H., Schugens, M. M., & Birbaumer, N. (1992). Discrimination of Muscle Tension in Chronic Pain Patients and Healthy Controls 1. In *Biofeedback and Self-Regulation* (Vol. 17, Issue 3).

- Fowler, R. S., & Kraft, G. H. (1974). Tension perception in patients having pain associated with chronic muscle tension. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 55(1), 28–30.
- Gandevia, S. C. (2014). Proprioception, Tensegrity, and Motor Control. *Journal of Motor Behavior*, 46(3), 199–201. <https://doi.org/10.1080/00222895.2014.883807>
- Gescheider, G. A. (2013). *Psychophysics*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203774458>
- Gilman, S. (2002). Joint position sense and vibration sense: Anatomical organisation and assessment. In *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry* (Vol. 73, Issue 5, pagg. 473–477). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/jnnp.73.5.473>
- Gratz, K. L., & Roemer, L. (2004). Multidimensional Assessment of Emotion Regulation and Dysregulation: Development, Factor Structure, and Initial Validation of the Difficulties in Emotion Regulation Scale 1. In *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment* (Vol. 26, Issue 1).
- Grob, K. R., Kuster, M. S., Higgins, S. A., Lloyd, D. G., & Yata, H. (2002). Lack of correlation between different measurements of proprioception in the knee. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 84(4), 614–618. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.84B4.11241>
- Han, J., Waddington, G., Adams, R., & Anson, J. (2013). Bimanual proprioceptive performance differs for right- and left-handed individuals. *Neuroscience Letters*, 542, 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2013.03.020>
- Han, J., Waddington, G., Adams, R., Anson, J., & Liu, Y. (2016). Assessing proprioception: A critical review of methods. In *Journal of Sport and Health Science*

(Vol. 5, Issue 1, pagg. 80–90). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.10.004>

Head, H., & Holmes, G. (1911). Sensory Disturbances from cerebral lesions. *Brain*, 34(2–3), 102–254. <https://doi.org/10.1093/brain/34.2-3.102>

Hillier, S., Immink, M., & Thewlis, D. (2015). Assessing Proprioception: A Systematic Review of Possibilities. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 29(10), 933–949.
<https://doi.org/10.1177/1545968315573055>

Hodges, P. W., & Tucker, K. (2011). Moving differently in pain: A new theory to explain the adaptation to pain. *Pain*, 152(3), S90–S98.
<https://doi.org/10.1016/j.pain.2010.10.020>

Hoehn-Saric, McLeod, & Zimmerli. (1989). Symptoms and treatment responses of generalized anxiety disorder patients with high versus low levels of cardiovascular complaints. *American Journal of Psychiatry*, 146(7), 854–859.
<https://doi.org/10.1176/ajp.146.7.854>

Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 35(SUPPL.2).
<https://doi.org/10.1093/ageing/af1077>

Horak, F. B. (2009). Postural Control. In M. D. Binder, N. Hirokawa, & U. Windhorst (A c. Di), *Encyclopedia of Neuroscience* (pagg. 3212–3219). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-29678-2_4708

Horak, F., Shupert, C., & Mirka, A. (1989). Components of postural dyscontrol in the elderly: A review. *Neurobiology of Aging*, 10(6), 727–738.
[https://doi.org/10.1016/0197-4580\(89\)90010-9](https://doi.org/10.1016/0197-4580(89)90010-9)

- Horváth, Á., Ferentzi, E., Schwartz, K., Jacobs, N., Meyns, P., & Köteles, F. (2022). The measurement of proprioceptive accuracy: A systematic literature review. In *Journal of Sport and Health Science*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2022.04.001>
- Horváth, Á., Vig, L., Ferentzi, E., & Köteles, F. (2021). Cardiac and Proprioceptive Accuracy Are Not Related to Body Awareness, Perceived Body Competence, and Affect. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.575574>
- Hume, D. (2008). *Opere filosofiche. Trattato sulla natura umana*. (Laterza, A c. Di; 12° edizione).
- Hung, Y. (2015). Neuromuscular control and rehabilitation of the unstable ankle. *World Journal of Orthopedics*, 6(5), 434. <https://doi.org/10.5312/wjo.v6.i5.434>
- Hwang, S., Agada, P., Kiemel, T., & Jeka, J. J. (2014). Dynamic Reweighting of Three Modalities for Sensor Fusion. *PLoS ONE*, 9(1), 88132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088132>
- Ismailov, I. I., Berdiev, B. K., Shlyonsky, V. G., & Benos, D. J. (1997). Mechanosensitivity of an epithelial Na⁺ channel in planar lipid bilayers: release from Ca²⁺ block. *Biophysical Journal*, 72(3), 1182–1192. [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(97\)78766-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(97)78766-6)
- Ito, T., Sakai, Y., Ito, Y., Yamazaki, K., & Morita, Y. (2020). Association Between Back Muscle Strength and Proprioception or Mechanoreceptor Control Strategy in Postural Balance in Elderly Adults with Lumbar Spondylosis. *Healthcare*, 8(1), 58. <https://doi.org/10.3390/healthcare8010058>

- Iwasaki, T., Goto, N., Goto, J., Ezure, H., & Moriyama, H. (2003). The Aging of Human Meissner's Corpuscles as Evidenced by Parallel Sectioning. *Okajimas Folia Anatomica Japonica*, 79(6), 185–189. <https://doi.org/10.2535/ofaj.79.185>
- Jacobs, J. v., Henry, S. M., Jones, S. L., Hitt, J. R., & Bunn, J. Y. (2011). A history of low back pain associates with altered electromyographic activation patterns in response to perturbations of standing balance. *Journal of Neurophysiology*, 106(5), 2506–2514. <https://doi.org/10.1152/jn.00296.2011>
- Jacobs, J. v., & Horak, F. B. (2006). Abnormal proprioceptive-motor integration contributes to hypometric postural responses of subjects with parkinson's disease. *Neuroscience*, 141(2), 999–1009. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.04.014>
- Janwantanakul, P., Magarey, M. E., Jones, M. A., Grimmer, K. A., & Miles, T. S. (2003). The effect of body orientation on shoulder proprioception. *Physical Therapy in Sport*, 4(2), 67–73. [https://doi.org/10.1016/S1466-853X\(03\)00032-4](https://doi.org/10.1016/S1466-853X(03)00032-4)
- Jha, P., Ahamad, I., Khurana, S., Ali, K., Verma, S., & Kumar, T. (2017). Proprioception: An Evidence Based Narrative Review. *Research & Investigations in Sports Medicine*, 1(2). <https://doi.org/10.31031/rism.2017.01.000506>
- Kammers, M. P. M., van der Ham, I. J. M., & Dijkerman, H. C. (2006). Dissociating body representations in healthy individuals: Differential effects of a kinaesthetic illusion on perception and action. *Neuropsychologia*, 44(12), 2430–2436. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.04.009>
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2014). *Principi di Neuroscienze* (Casa Editrice Ambrosiana, A c. Di; 4° edizione).

- Kaplan, F. S., Nixon, J. E., Reitz, M., Rindfleish, L., & Tucker, J. (1985). Age-related changes in proprioception and sensation of joint position. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 56(1), 72–74. <https://doi.org/10.3109/17453678508992984>
- Kararizou, E., Manta, P., Kalfakis, N., & Vassilopoulos, D. (2005). Morphometric study of the human muscle spindle. *Analytical and Quantitative Cytology and Histology*, 27(1), 1–4.
- Kenzie, J. M., Semrau, J. A., Findlater, S. E., Herter, T. M., Hill, M. D., Scott, S. H., & Dukelow, S. P. (2014). Anatomical correlates of proprioceptive impairments following acute stroke: A case series. *Journal of the Neurological Sciences*, 342(1–2), 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2014.04.025>
- Kirschbaum, C., Pirke, K.-M., & Hellhammer, D. H. (1993). The ‘Trier Social Stress Test’ – A Tool for Investigating Psychobiological Stress Responses in a Laboratory Setting. *Neuropsychobiology*, 28(1–2), 76–81. <https://doi.org/10.1159/000119004>
- Kröger, S., & Watkins, B. (2021). Muscle spindle function in healthy and diseased muscle. In *Skeletal Muscle* (Vol. 11, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13395-020-00258-x>
- Landgren, S., & Silfvenius, H. (1969). Projection to cerebral cortex of Group I muscle afferents from the cat’s hind limb. *The Journal of Physiology*, 200(2), 353–372. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1969.sp008698>
- Lewis, J. S., Kersten, P., McPherson, K. M., Taylor, G. J., Harris, N., McCabe, C. S., & Blake, D. R. (2010). Wherever is my arm? Impaired upper limb position accuracy in Complex Regional Pain Syndrome. *Pain*, 149(3), 463–469. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2010.02.007>

- Li, L., Ji, Z.-Q., Li, Y.-X., & Liu, W.-T. (2016). Correlation study of knee joint proprioception test results using common test methods. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(2), 478–482. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.478>
- Li, L., Zhang, S., & Dobson, J. (2019). The contribution of small and large sensory afferents to postural control in patients with peripheral neuropathy. In *Journal of Sport and Health Science* (Vol. 8, Issue 3, pagg. 218–227). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.09.010>
- Liu, J.-X., Eriksson, P.-O., Thornell, L.-E., & Pedrosa-Domellöf, F. (2005). Fiber Content and Myosin Heavy Chain Composition of Muscle Spindles in Aged Human Biceps Brachii. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 53(4), 445–454. <https://doi.org/10.1369/jhc.4A6257.2005>
- Longo, M. R., & Haggard, P. (2010). An implicit body representation underlying human position sense. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(26), 11727–11732. <https://doi.org/10.1073/pnas.1003483107>
- Lovibond, P. F., & Lovibond, S. H. (1995). The structure of negative emotional states: Comparison of the Depression Anxiety Stress Scales (DASS) with the Beck Depression and Anxiety Inventories. *Behaviour Research and Therapy*, 33(3), 335–343. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(94\)00075-U](https://doi.org/10.1016/0005-7967(94)00075-U)
- Mader, S. S. (2018). *Immagini e concetti della biologia. Dalle cellule agli organismi.* (Zanichelli, A c. Di; 2°).
- Maravita, A., Spence, C., & Driver, J. (2003). Multisensory integration and the body schema: close to hand and within reach. *Current Biology*, 13(13), R531–R539. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(03\)00449-4](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(03)00449-4)

- Marshall, A. C., Gentsch, A., & Schütz-Bosbach, S. (2018). The interaction between interoceptive and action states within a framework of predictive coding. In *Frontiers in Psychology* (Vol. 9, Issue FEB). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00180>
- Martin, T. A., Keating, J. G., Goodkin, H. P., Bastian, A. J., & Thach, W. T. (1996). Throwing while looking through prisms: II. Specificity and storage of multiple gaze-throw calibrations. *Brain*, *119*(4), 1199–1211. <https://doi.org/10.1093/brain/119.4.1199>
- Maschke, M., Gomez, C. M., Tuite, P. J., & Konczak, J. (2003). Dysfunction of the basal ganglia, but not the cerebellum, impairs kinaesthesia. *Brain*, *126*(10), 2312–2322. <https://doi.org/10.1093/brain/awg230>
- McCabe, C. S., & Blake, D. R. (2008). An embarrassment of pain perceptions? Towards an understanding of and explanation for the clinical presentation of CRPS type 1. *Rheumatology*, *47*(11), 1612–1616. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/ken254>
- McCloskey, D. I., Gandevia, S., Potter, E. K., & Colebatch, J. G. (1983). Muscle sense and effort: motor commands and judgments about muscular contractions. *Advances in Neurology*, *39*, 151–167.
- McIntyre, A. K., Proske, U., & Rawson, J. A. (1984). Cortical projection of afferent information from tendon organs in the cat. *The Journal of Physiology*, *354*(1), 395–406. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1984.sp015383>
- Melzack, R. (1990). Phantom limbs and the concept of a neuromatrix. *Trends in Neurosciences*, *13*(3), 88–92. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(90\)90179-E](https://doi.org/10.1016/0166-2236(90)90179-E)
- Mukhopadhyay, K. (2021). Proprioception and kinesthesia: The sixth sense organ. In *Adv Health Exerc* (Vol. 1, Issue 1).

- Murthy, S. E., Dubin, A. E., & Patapoutian, A. (2017). Piezos thrive under pressure: Mechanically activated ion channels in health and disease. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 18(12), 771–783. <https://doi.org/10.1038/nrm.2017.92>
- Nagai, T., Allison, K. F., Schmitz, J. L., Sell, T. C., & Lephart, S. M. (2016). *Conscious Proprioception Assessments in Sports Medicine: How Individuals Perform Each Submodality?*
- Nashner, L., & Berthoz, A. (1978). *Visual contribution to rapid motor responses during postural control.*
- Niespodziński, B., Kochanowicz, A., Mieszkowski, J., Piskorska, E., & Żychowska, M. (2018). Relationship between Joint Position Sense, Force Sense, and Muscle Strength and the Impact of Gymnastic Training on Proprioception. *BioMed Research International*, 2018, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2018/5353242>
- Omerbašić, D., Schuhmacher, L. N., Bernal Sierra, Y. A., Smith, E. S. J., & Lewin, G. R. (2015). ASICs and mammalian mechanoreceptor function. *Neuropharmacology*, 94, 80–86. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROPHARM.2014.12.007>
- Oscarsson, O., & Rosén, I. (1963). Projection to cerebral cortex of large muscle-spindle afferents in forelimb nerves of the cat. *The Journal of Physiology*, 169(4), 924–945. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1963.sp007305>
- Pettorossi, V. E., Schieppati, M., Konczak, J., Taylor, D., Studi, C., & Motorie, A. (2014). *HUMAN NEUROSCIENCE Neck proprioception shapes body orientation and perception of motion.* <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00895>
- Pluess, M., Conrad, A., & Wilhelm, F. H. (2009). Muscle tension in generalized anxiety disorder: A critical review of the literature. In *Journal of Anxiety Disorders* (Vol. 23, Issue 1, pagg. 1–11). <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2008.03.016>

- Poli, A., Maremmani, A. G. I., Chiorri, C., Mazzoni, G.-P., Orrù, G., Kolacz, J., Porges, S. W., Conversano, C., Gemignani, A., & Miccoli, M. (2021). Item Reduction, Psychometric and Biometric Properties of the Italian Version of the Body Perception Questionnaire—Short Form (BPQ-SF): The BPQ-22. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3835. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073835>
- Popa, T., Bonifazi, M., della Volpe, R., Rossi, A., & Mazzocchio, R. (2007). Adaptive changes in postural strategy selection in chronic low back pain. *Experimental Brain Research*, 177(3), 411–418. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0683-4>
- Porges, S. (1993). *Body Perception Questionnaire*.
- Porges, S. W. (2009). The polyvagal theory: New insights into adaptive reactions of the autonomic nervous system. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 76(4 suppl 2), S86–S90. <https://doi.org/10.3949/ccjm.76.s2.17>
- Proske, U., & Gandevia, S. C. (2012). The Proprioceptive Senses: Their Roles in Signaling Body Shape, Body Position and Movement, and Muscle Force. *Physiol Rev*, 92, 1651–1697. <https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2011.-This>
- Prosperini, L., Fortuna D., Gianni, C., Leonardi, L., Marchetti, M. R., & Pozzilli, C. (2013). Home-Based Balance Training Using the Wii Balance Board: A Randomized, Crossover Pilot Study in Multiple Sclerosis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 27(6), 516–525. <https://doi.org/10.1177/1545968313478484>
- Prosperini, L., Leonardi, L., de Carli, P., Mannocchi, M. L., & Pozzilli, C. (2010). Visuo-proprioceptive training reduces risk of falls in patients with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal*, 16(4), 491–499. <https://doi.org/10.1177/1352458509359923>

- Purves, D., Augustine G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., la Mantia, A., Mooney, R. D., Platt, M. L., & White, L. E. (2021). *Neuroscienze* (Zanichelli, A c. Di; 5° edizione).
- Rand, D. (2018). Proprioception deficits in chronic stroke—Upper extremity function and daily living. *PLOS ONE*, *13*(3), e0195043. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195043>
- Reding, M. J., & Potes, E. (1988). Rehabilitation outcome following initial unilateral hemispheric stroke. Life table analysis approach. *Stroke*, *19*(11), 1354–1358. <https://doi.org/10.1161/01.STR.19.11.1354>
- Rhoades, R., & Pflanzner, R. (2004). Sistemi sensoriali. In Piccin (A c. Di), *Fisiologia generale e umana* (2 edizione).
- Ribeiro, F., & Oliveira, J. (2011). Factors Influencing Proprioception: What do They Reveal? In Klika V. (A c. Di), *Biomechanics in Applications*. InTech. <https://doi.org/10.5772/20335>
- Ribeiro, L., Souza, T. M., Bizarro, L., & Oliveira, A. (2011). Proprioceptive deficits in Parkinson's disease: From clinical data to animal experimentation. *Psychology & Neuroscience*, *4*(2), 235–244. <https://doi.org/10.3922/j.psns.2011.2.009>
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). by the National Athletic Trainers. In *Journal of Athletic Training* (Vol. 37, Issue 1). Association, Inc. <https://doi.org/10.1016/j.jconhy>
- Röijejon, U., Clark, N. C., & Treleaven, J. (2015). Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1: Basic science and principles of assessment and clinical interventions. *Manual Therapy*, *20*(3), 368–377. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.01.008>

- Schwenkreis, P., Pleger, B., Höffken, O., Malin, J.-P., & Tegenthoff, M. (2001). Repetitive training of a synchronised movement induces short-term plastic changes in the human primary somatosensory cortex. *Neuroscience Letters*, *312*(2), 99–102. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(01\)02196-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)02196-6)
- Schwoebel, J., & Coslett, H. B. (2005). Evidence for Multiple, Distinct Representations of the Human Body. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(4), 543–553. <https://doi.org/10.1162/0898929053467587>
- Shakoor, N., Agrawal, A., & Block, J. A. (2008). Reduced lower extremity vibratory perception in osteoarthritis of the knee. *Arthritis Care and Research*, *59*(1), 117–121. <https://doi.org/10.1002/art.23241>
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2010). *Motor Control: Translating Research Into Clinical Practice*. (Lippincott Williams & Wilkins, A c. Di; 4^a ed.).
- Sighinolfi, C., Pala, A. N., Chiri, L. R., Marchetti, I., & Sica, C. (2010). *Difficulties in Emotion Regulation Scale (DERS): Traduzione e adattamento italiano*. 141–170.
- Simon, A., Shenton, F., Hunter, I., Banks, R. W., & Bewick, G. S. (2010). Amiloride-sensitive channels are a major contributor to mechanotransduction in mammalian muscle spindles. *Journal of Physiology*, *588*(1), 171–185. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.182683>
- Skinner, H. B., Barrack, R. L., & Cook, S. D. (1984). Age-related decline in proprioception. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, *184*, 208–211.
- Smith, D. L., Akhtar, A. J., & Garraway, W. M. (1983). Proprioception and spatial neglect after stroke. *Age and Ageing*, *12*(1), 63–69. <https://doi.org/10.1093/ageing/12.1.63>
- Stanton, T. R., Leake, H. B., Chalmers, K. J., & Moseley, G. L. (2016). Evidence of Impaired Proprioception in Chronic, Idiopathic Neck Pain: Systematic Review and

Meta-Analysis. *Physical Therapy*, 96(6), 876–887.

<https://doi.org/10.2522/ptj.20150241>

Stelmach, G. E., & Sirica, A. (1986). AGING AND PROPRIOCEPTION. In *Age* (Vol. 9).

Stern, P. H., McDowell, F., Miller, J. M., & Robinson, M. (1970). Effects of facilitation exercise techniques in stroke rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 51(9), 526–531.

Stevens, S. S. (1961). To Honor Fechner and Repeal His Law. *Science*, 133(3446), 80–86. <https://doi.org/10.1126/science.133.3446.80>

Stillman, B. C. (2002). Making Sense of Proprioception. *Physiotherapy*, 88(11), 667–676. [https://doi.org/10.1016/S0031-9406\(05\)60109-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(05)60109-5)

Stilson, D. W., Matus, I., & Ball, G. (1980). Relaxation and subjective estimates of muscle tension: Implications for a central efferent theory of muscle control. *Biofeedback and Self-Regulation*, 5(1), 19–36. <https://doi.org/10.1007/BF00999061>

Suetterlin, K. J., & Sayer, A. A. (2014). Proprioception: Where are we now? A commentary on clinical assessment, changes across the life course, functional implications and future interventions. In *Age and Ageing* (Vol. 43, Issue 3, pagg. 313–318). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/ageing/aft174>

Sunderland, A. (2000). *Recovery of Ipsilateral Dexterity After Stroke*.

Teasdale, H., Preston, E., & Waddington, G. (2017). Proprioception of the Ankle is Impaired in People with Parkinson's Disease. *Movement Disorders Clinical Practice*, 4(4), 524–528. <https://doi.org/10.1002/mdc3.12464>

Tong, M. H., Mousavi, S. J., Kiers, H., Ferreira, P., Refshauge, K., & van Dieën, J. (2017). Is There a Relationship Between Lumbar Proprioception and Low Back Pain? A

- Systematic Review With Meta-Analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 98(1), 120-136.e2. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.05.016>
- Treleaven, J., Peterson, G., Ludvigsson, M. L., Kammerlind, A. S., & Peolsson, A. (2016). Balance, dizziness and proprioception in patients with chronic whiplash associated disorders complaining of dizziness: A prospective randomized study comparing three exercise programs. *Manual Therapy*, 22, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.10.017>
- Tuthill, J. C., & Azim, E. (2018). *Proprioception*. 187–207.
- Tyson, S. F., Hanley, M., Chillala, J., Selley, A. B., & Tallis, R. C. (2008). Sensory Loss in Hospital-Admitted People With Stroke: Characteristics, Associated Factors, and Relationship With Function. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 22(2), 166–172. <https://doi.org/10.1177/1545968307305523>
- Valori, I., McKenna-Plumley, P. E., Bayramova, R., Zandonella Callegher, C., Altoè, G., & Farroni, T. (2020). Proprioceptive accuracy in Immersive Virtual Reality: A developmental perspective. *PLOS ONE*, 15(1), e0222253. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222253>
- van Deursen, R. W., Matilde Sanchez Jan Ulbrecht, M. S., Cavanagh, P. R., van Deursen, R., Cavanagh, P., Sanchez, M., & Ulbrecht, J. (1998). The role of muscle spindles in ankle movement perception in human subjects with diabetic neuropathy. In *Exp Brain Res* (Vol. 120). Springer-Verlag.
- Vega, J. A., & Cobo, J. (2021). Proprioception. In J. A. Vega & J. Cobo (A c. Di), *Proprioception*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92928>

- Verdu, E., Ceballos, D., Vilches, J. J., & Navarro, X. (2000). Influence of aging on peripheral nerve function and regeneration. *Journal of the Peripheral Nervous System*, 5(4), 191–208. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8027.2000.00026.x>
- Vidoni, E. D., & Boyd, L. A. (2009). Preserved motor learning after stroke is related to the degree of proprioceptive deficit. *Behavioral and Brain Functions*, 5(1), 36. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-5-36>
- Vlaeyen, J. W. S., & Linton, S. J. (2000). *Fear-avoidance and its consequences in chronic musculoskeletal pain: a state of the art*. www.elsevier.nl/locate/pain
- Wade, D. T., Wood, V. A., Langton, H., (1985). Use of Hospital Resources by Acute Stroke Patients. In *Journal of the Royal College of Physicians of London* (Vol. 19, Issue 1).
- Wand, B. M., Parkitny, L., O'Connell, N. E., Luomajoki, H., McAuley, J. H., Thacker, M., & Moseley, G. L. (2011). Cortical changes in chronic low back pain: Current state of the art and implications for clinical practice. *Manual Therapy*, 16(1), 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.math.2010.06.008>
- Weeks, H. M., Therrien, A. S., & Bastian, A. J. (2017a). The cerebellum contributes to proprioception during motion. *Journal of Neurophysiology*, 118(2), 693–702. <https://doi.org/https://doi.org/10.1152/jn.00417.2016>
- Weeks, H. M., Therrien, A. S., & Bastian, A. J. (2017b). The cerebellum contributes to proprioception during motion. *Journal of Neurophysiology*, 118(2), 693–702. <https://doi.org/10.1152/jn.00417.2016>
- Weerakkody, N. S., Percival, P., Canny, B. J., Morgan, D. L., & Proske, U. (2003). Force matching at the elbow joint is disturbed by muscle soreness. *Somatosensory & Motor Research*, 20(1), 27–32. <https://doi.org/10.1080/0899022031000083816>

- Wetter, S., Poole, J. L., & Haaland, K. Y. (2005). Functional implications of ipsilesional motor deficits after unilateral stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(4), 776–781. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.08.009>
- Wirz, M., & van Hedel, H. J. A. (2018). *Balance, gait, and falls in spinal cord injury* (pagg. 367–384). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63916-5.00024-0>
- Witchalls, J., Blanch, P., Waddington, G., & Adams, R. (2012). Intrinsic functional deficits associated with increased risk of ankle injuries: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 46(7), 515–523. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090137>
- Woo, S. H., Lukacs, V., de Nooij, J. C., Zaytseva, D., Criddle, C. R., Francisco, A., Jessell, T. M., Wilkinson, K. A., & Patapoutian, A. (2015). Piezo2 is the principal mechanotransduction channel for proprioception. *Nature Neuroscience*, 18(12), 1756–1762. <https://doi.org/10.1038/nn.4162>
- Woo, S. H., Ranade, S., Weyer, A. D., Dubin, A. E., Baba, Y., Qiu, Z., Petrus, M., Miyamoto, T., Reddy, K., Lumpkin, E. A., Stucky, C. L., & Patapoutian, A. (2014). Piezo2 is required for Merkel-cell mechanotransduction. *Nature*, 509(7502), 622–626. <https://doi.org/10.1038/nature13251>
- Yan T., & Hui-Chan C.W. (2000). *The ability to detect movement of the knee joint is decreased with aging.*
- Yang, N., Waddington, G., Adams, R., & Han, J. (2020). Joint position reproduction and joint position discrimination at the ankle are not related. *Somatosensory & Motor Research*, 37(2), 97–105. <https://doi.org/10.1080/08990220.2020.1746638>
- You, S. H. (2005). Joint position sense in elderly fallers: A preliminary investigation of the validity and reliability of the SENSERite measure. *Archives of Physical*

Medicine and Rehabilitation, 86(2), 346–352.

<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.01.035>

Zhao, Q., Zhou, H., Chi, S., Wang, Y., Wang, J., Geng, J., Wu, K., Liu, W., Zhang, T., Dong, M. Q., Wang, J., Li, X., & Xiao, B. (2018). Structure and mechanogating mechanism of the Piezo1 channel. *Nature*, 554(7693), 487–492.

<https://doi.org/10.1038/nature25743>