

Title: Sensorimotor Training and Pain Modulation: Clinical and Functional Insights from Osteoarthritis and Fibromyalgia

Abstract (eng)

Chronic musculoskeletal pain represents a major health burden, often leading to disability, psychological distress, and reduced quality of life. Within the modern biopsychosocial framework, chronic pain is understood as a complex and multidimensional phenomenon, arising from the interaction between peripheral nociceptive inputs, central nervous system sensitization, and psychosocial factors. Osteoarthritis (OA) and fibromyalgia (FM) are two paradigmatic chronic pain conditions situated at different points along the nociceptive and nociplastic continuum, sharing common features such as altered pain modulation, reduced physical function, and kinesiophobia.

Adapted physical exercise is recognized as a cornerstone of non-pharmacological pain management. In particular, sensorimotor training, which integrates proprioceptive stimulation, and motor and balance control, may represent a promising approach to restore motor function, enhance body awareness, and modulate pain. Despite its potential, this exercise modality remains underexplored in chronic pain populations.

The present doctoral thesis aimed to explore the clinical, functional, and biological effects of sensorimotor exercise in chronic pain, through a multimodal and translational approach. The work includes: (1) a systematic review and meta-analysis examining the effects of different exercise modalities on pain, functional capacity, and inflammatory biomarkers in OA; (2) one experimental study comparing a 24-week Gyrokinesis® program with Pilates in women with OA, focusing on: (2a) functional and clinical parameter and (2b) exploratory biochemical outcomes; and (3) a pilot study assessing the feasibility of a 12-week sensorimotor training intervention on women affected by FM.

The meta-analysis revealed that neuromuscular and sensorimotor-based interventions produced the largest effect size for pain reduction in OA, compared to aerobic or resistance training. Results from the experimental studies showed that Gyrokinesis® training led to greater improvements in postural control, functional performance, and pain reduction than Pilates, suggesting a specific role of movement quality and proprioceptive engagement. In the exploratory biomarker analysis, Gyrokinesis® elicited an increase in total glutathione and a mild reduction in LDH, indicating potential modulation of oxidative balance. The pilot study confirmed the feasibility, safety, and

acceptability of sensorimotor exercise for FM patients, with preliminary improvements in pain, symptoms, sleep quality, and functional capacity.

Together, these findings support the relevance of sensorimotor exercise as an integrative therapeutic strategy for chronic pain conditions. Beyond the mechanical aspects of training, the emphasis on body awareness, rhythmic coordination, and central sensory-motor integration may contribute to pain modulation through both peripheral and central pathways. This thesis thus contributes to the emerging paradigm that movement quality matters, offering new perspectives for the design of personalized, biopsychosocial exercise interventions in chronic pain rehabilitation.

Keywords: Sensorimotor training; Chronic pain; Osteoarthritis; Fibromyalgia; Exercise therapy; Pain modulation; Movement quality; Biomarkers.

Abstract (ita)

Il dolore muscoloscheletrico cronico rappresenta un importante problema di salute pubblica, spesso associato a disabilità, distress psicologico e riduzione della qualità di vita. All'interno del moderno modello biopsicosociale, il dolore cronico è inquadrato come un fenomeno complesso e multidimensionale, che deriva dall'interazione tra input nocicettivi periferici, processi di sensibilizzazione del sistema nervoso centrale e fattori psicosociali. L'osteoartrosi (OA) e la fibromialgia (FM) sono due condizioni paradigmatiche di dolore cronico collocate in punti differenti lungo il continuum nocicettivo-nociplastico, ma accomunate da caratteristiche quali alterata modulazione del dolore, ridotta funzione fisica e kinesiofobia.

L'esercizio fisico adattato è riconosciuto come un pilastro della gestione non farmacologica del dolore. In particolare, l'allenamento sensomotorio, che integra stimolazione propriocettiva e controllo motorio ed equilibrio, può rappresentare un approccio promettente per il ripristino della funzione motoria, il miglioramento della consapevolezza corporea e la modulazione del dolore. Nonostante il suo potenziale, questa modalità di esercizio rimane ancora poco esplorata nelle popolazioni con dolore cronico.

La presente tesi di dottorato ha avuto l'obiettivo di esplorare gli effetti clinici, funzionali e infiammatori dell'esercizio sensomotorio nel dolore cronico, attraverso un approccio multimodale e traslazionale. Il lavoro comprende: (1) una revisione sistematica e meta-analisi sugli effetti di diverse modalità di esercizio su dolore, capacità funzionale e biomarcatori infiammatori nell'OA; (2) uno studio sperimentale che ha confrontato un programma di Gyrokinesis® della durata di 24 settimane

con un programma di Pilates in donne affette da OA, con particolare attenzione a: (2a) parametri clinici e funzionali e (2b) outcome biochimici esplorativi; e (3) uno studio pilota volto a valutare la fattibilità di un intervento di allenamento sensomotorio di 12 settimane in donne con FM.

La meta-analisi ha evidenziato che gli interventi neuromuscolari e basati sull'allenamento sensomotorio hanno prodotto la maggiore dimensione dell'effetto nella riduzione del dolore nell'OA, rispetto all'esercizio aerobico o di resistenza. I risultati degli studi sperimentali hanno mostrato che l'allenamento di Gyrokinesis® ha determinato miglioramenti maggiori nel controllo posturale, nella performance funzionale e nella riduzione del dolore rispetto al Pilates, suggerendo un ruolo specifico della qualità del movimento e del coinvolgimento propriocettivo. Nell'analisi esplorativa dei biomarcatori, la Gyrokinesis® ha indotto un aumento del glutatione totale e una lieve riduzione della LDH, indicando una potenziale modulazione dell'equilibrio ossidativo. Lo studio pilota ha confermato la fattibilità, la sicurezza e l'accettabilità dell'esercizio sensomotorio nelle pazienti con FM, con miglioramenti preliminari del dolore, della sintomatologia generale, della qualità del sonno e della capacità funzionale.

Nel complesso, questi risultati supportano la rilevanza dell'esercizio sensomotorio come strategia terapeutica integrativa nelle condizioni di dolore cronico. Oltre agli aspetti meccanici dell'allenamento, l'enfasi sulla consapevolezza corporea, sulla coordinazione ritmica e sull'integrazione sensomotoria centrale può contribuire alla modulazione del dolore attraverso vie sia periferiche sia centrali. Questa tesi contribuisce pertanto al paradigma emergente secondo cui la qualità del movimento è un elemento determinante, offrendo nuove prospettive per la progettazione di interventi di esercizio personalizzati e biopsicosociali nella riabilitazione del dolore cronico.

Parole chiave: Allenamento sensomotorio; Dolore cronico; Osteoartrosi; Fibromialgia; Terapia dell'esercizio; Modulazione del dolore; Qualità del movimento; Biomarcatori.

PhD candidate: Caterina Mauri

Corso del Dottorato: Dottorato in Scienze del movimento umano e dello Sport/ PhD in Human Movement and Sport Science

Ciclo: 38°

Anno accademico di iscrizione: 2022/2023