

**Dottorato di Ricerca in Scienze del Movimento Umano e Dello Sport
XXXVIII Ciclo**

a.a. 2022/2023

Candidato: Cecilia Lo Zoppo

Titolo Della Tesi:

**“Musculoskeletal Tumors and Tumorlike Lesions:
a Wearable Sensor Based Functional Assessment”**

Abstract

Questo progetto di ricerca dottorale ha indagato il potenziale delle tecnologie basate su sensori indossabili per la valutazione oggettiva della funzione motoria in pazienti affetti da tumori ossei e dei tessuti molli, con l'obiettivo di favorirne l'integrazione nella pratica clinica. L'obiettivo generale dello studio è stato lo sviluppo di un protocollo di valutazione basato su sensori indossabili, in grado di misurare le prestazioni motorie in condizioni ecologiche e rappresentative della vita reale.

La ricerca ha preso avvio da una revisione sistematica della letteratura, che ha messo in evidenza i principali limiti degli approcci di valutazione attualmente adottati, tra cui la dipendenza da sistemi di motion capture in ambiente laboratoriale, il predominante focus sull'analisi dell'andatura in linea retta e la carenza di valutazioni globali capaci di includere il controllo posturale, i livelli di attività quotidiana e la funzione motoria in fase preoperatoria. Solo un numero limitato di studi ha integrato l'uso di sensori indossabili, e la letteratura esistente ha rivelato persistenti lacune nella valutazione degli esiti funzionali oltre le semplici metriche di deambulazione.

Per affrontare tali criticità, uno studio metodologico ha adattato protocolli di valutazione convenzionali ai vincoli degli ambienti clinici, dimostrando che il Two-Minute Walk Test (2MWT) richiede specifiche distanze rettilinee minime per garantire la validità dei risultati. Successivamente, le valutazioni preoperatorie condotte su pazienti con tumori ossei e dei tessuti molli hanno evidenziato la presenza di deficit motori già prima dell'intervento chirurgico, con un impatto più marcato sulla capacità di deambulazione nei pazienti affetti da tumori ossei rispetto a quelli con tumori dei tessuti molli. Le dimensioni del tumore non sono risultate correlate all'entità di tali deficit, sottolineando l'importanza di includere compiti motori complessi, in grado di rivelare alterazioni neuromuscolari e strategie compensative.

Le valutazioni postoperatorie hanno inoltre indicato che i livelli preoperatori di attività fisica sembrerebbero influenzare significativamente i percorsi di recupero funzionale. I pazienti fisicamente attivi hanno mostrato un recupero più rapido e un ritorno alle condizioni funzionali preoperatorie entro sei mesi, mentre i pazienti sedentari hanno presentato persistenti alterazioni dell'andatura, riduzione della forza muscolare e maggiore instabilità posturale.

Infine, uno studio pilota focalizzato su pazienti sottoposti a sostituzione tibiale prossimale ha proposto un modello di valutazione globale che integra misure di performance funzionale, outcome riferiti dai pazienti e indicatori oggettivi dello stile di vita. A fronte di pattern di andatura comparabili, è emersa una marcata variabilità nelle capacità funzionali percepite, nell'impatto psicosociale e nei livelli di attività fisica quotidiani, evidenziando la necessità di valutazioni specifiche per sottogruppi di pazienti e di protocolli riabilitativi personalizzati.

Nel complesso, i risultati di questa ricerca dimostrano che le valutazioni basate su sensori indossabili rappresentano un approccio fattibile, oggettivo e clinicamente rilevante per la valutazione della funzione motoria lungo l'intero continuum della cura oncologica. Questo lavoro costituisce un passo significativo verso la traduzione clinica di tali tecnologie; tuttavia, per una loro piena adozione nella pratica clinica sono necessari ulteriori sforzi di standardizzazione dei protocolli e di integrazione nei flussi di lavoro clinici. I risultati ottenuti forniscono un quadro di riferimento per lo sviluppo di strategie di riabilitazione personalizzata, programmi di preabilitazione e monitoraggio a lungo termine in popolazioni oncologiche rare ed eterogenee.

Abstract (English version)

This doctoral research project investigated the potential of wearable sensor technologies to objectively evaluate motor function in patients with bone and soft-tissue tumors, with the aim of integrating such assessments into clinical practice. The overarching goal was to develop a sensor-based, wearable evaluation protocol capable of capturing motor performance in ecological, real-world conditions.

The project began with a comprehensive literature review, which highlighted the limitations of current assessment approaches, including reliance on laboratory-based motion capture systems, a primary focus on straight-line gait analysis, and the lack of holistic evaluations encompassing postural control, daily-life activity, and preoperative motor function.

Only a few studies incorporated wearable sensors, and the literature revealed persistent gaps regarding functional outcomes beyond simple gait metrics. To address these gaps, a methodological study adapted conventional evaluation protocols for the constraints of clinical environments, demonstrating that the Two-Minute Walk Test (2MWT) requires specific straight-line distances to yield valid results.

Subsequently, preoperative assessments of patients with bone and soft-tissue tumors revealed that motor impairments can occur prior to surgery, with bone tumors affecting gait abilities more than soft-tissue tumors. Tumor size, however, appeared unrelated to these deficits, emphasizing the importance of evaluating complex motor tasks which may reveal neuromuscular involvements and compensatory strategies.

Postoperative assessments further indicated that preexisting levels of physical activity influence recovery trajectories. Active patients demonstrated faster functional recovery and a return to preoperative conditions within six months, whereas sedentary patients exhibited altered gait patterns, reduced muscle strength, and greater postural instability.

Finally, a pilot study focused on patients undergoing proximal tibial replacement proposed a holistic evaluation model integrating functional performance, patient-reported outcomes, and objective lifestyle measures. Despite similar gait patterns, variability was observed in perceived functional abilities, psychosocial impact, and activity levels, underscoring the need for subgroup-specific evaluations and tailored rehabilitation protocols.

Collectively, the present research demonstrates that wearable sensor-based assessments offer a feasible, objective, and clinically meaningful approach to evaluating motor function across the cancer care continuum. This work represents a foundational step toward clinical translation; future protocol standardization and workflow integration are required for clinical adoption. The findings provide a framework for personalized rehabilitation, prehabilitation, and long-term monitoring in patients with rare and heterogeneous tumor populations.