

La riabilitazione del controllo posturale con dispositivi robotici: una scoping review

Paolo TORNERI¹, Zoe MENASPÀ¹, Sanaz POURNAJAF², Stefano MAZZOLEN³, Carlo D'AURIZIO⁴, Nicola VALÈ¹, Marialuisa GANDOLFI¹.

¹ *Dipartimento di Neuroscienze, Biomedicina e Movimento, Università di Verona, Verona, Italia.*

² *Dipartimento di Scienze Neurologiche e Riabilitative, IRCCS San Raffaele Roma, Roma, Italia*

³ *Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione, Politecnico di Bari, Bari, Italia.*

⁴ *Carlo D'Aurizio, UOC Medicina Fisica e Riabilitativa ASL di Pescara, Pescara, Italia*

Corresponding Author:

Marialuisa Gandolfi

Dipartimento di Neuroscienze, Biomedicina e Movimento, Università di Verona

Email: marialuisa.gandolfi@univr.it

Abstract

Introduzione: La riabilitazione del controllo posturale rappresenta un importante obiettivo nella riabilitazione di persone con disabilità di origine neurologica. Lo scopo di questa revisione narrativa è riportare una revisione narrativa della letteratura sui dispositivi robotici ed elettromeccanici espressamente utilizzati per la riabilitazione del controllo posturale in pazienti con disabilità di origine neurologica sia in età evolutiva che adulta.

Materiali e metodi: la letteratura pubblicata in lingua inglese sulle banche dati MEDLINE e Cochrane Library nel periodo compreso tra settembre 2009 e maggio 2021 è stata inclusa nella revisione. Sono stati esclusi studi con dispositivi per la riabilitazione del cammino. Lo screening e l'estrazione dei dati sono stati eseguiti da due revisori indipendenti.

Risultati: Sono stati identificati complessivamente 85 studi di cui sei studi sono stati inclusi nella revisione. La maggior parte riguardava pazienti con esiti di ictus in fase cronica. Tutti gli studi erano randomizzati controllati (RCT). Quattro studi su sei proponevano un intervento intensivo mentre due studi una sessione settimanale dalle 4 alle 10 settimane.

Discussione: La riabilitazione dei

disturbi del controllo posturale mediante dispositivi robotici ed elettromeccanici utilizzando dispositivi espressamente sviluppati per tale scopo è attualmente limitata. I pochi studi esistenti sono stati condotti, tuttavia, con disegni sperimentali rigorosi (RCT) e nella maggior parte dei casi su ampie casistiche.

Conclusioni: I dispositivi tecnologici ideati per la riabilitazione del controllo posturale sono ancora numericamente esigui, gli studi a riguardo mostrano interessanti prospettive per la loro implementazione all'interno della pratica clinica.

Keywords: controllo posturale, equilibrio, riabilitazione, patologia neurologica, dispositivi robotici.

Introduzione

Il controllo dell'equilibrio è spesso considerato parte del controllo posturale, definito come capacità di mantenere, raggiungere o ripristinare uno stato di equilibrio durante qualsiasi postura o attività [1].

Possiamo distinguere due funzioni principali del controllo posturale: l'orientamento e l'equilibrio posturale. Il primo fa riferimento alla capacità di mantenere un adeguato tono muscolare ed un allineamento dei segmenti corporei nel rispetto della gravità, della base di supporto e

dell'ambiente circostante. La seconda funzione, ovvero l'equilibrio posturale, è la capacità di utilizzare adeguate strategie sensorimotorie per stabilizzare il centro di massa corporeo (CoM) in seguito a perturbazioni (autoindotte o dettate dall'ambiente esterno). L'equilibrio posturale a sua volta riguarda attività statiche (come, ad esempio, il mantenimento della stazione eretta) e attività dinamiche (come ad esempio la deambulazione). I disturbi dell'equilibrio rappresentano un capitolo molto importante in riabilitazione potendosi manifestare in qualsiasi età (evolutiva, adulta ed anziana) come conseguenza di patologie sia neurologiche che ortopediche [2]. Nell'ultimo decennio, si è verificato un notevole sviluppo in questo campo, sia in termini di conoscenza della fisiopatologia di tali disturbi sia di valutazione e trattamento, in quanto i disturbi dell'equilibrio sono i primi fattori predittivi di rischio di cadute e progressiva riduzione della mobilità di una persona [2-4]. L'orientamento e l'equilibrio posturale sono il risultato dell'interazione di sei diversi sistemi quali: vincoli biomeccanici, strategie di movimento, strategie sensoriali, orientamento spaziale, controllo dinamico, controllo cognitivo (principalmente attenzione) [3].

I vincoli biomeccanici prendono in

considerazione la quantità e la qualità della base di appoggio. In stazione eretta la base di appoggio si riferisce all'area delimitata dai due piedi ed è influenzata da forza, mobilità, dolore o controllo motorio a livello degli arti inferiori. Una delle caratteristiche dei vincoli biomeccanici coinvolti nell'equilibrio, è quella di controllare il movimento del centro di massa (comunemente abbreviato CoM dal termine anglosassone "Centre of Mass") rispetto alla base di appoggio garantendo, quando siamo in piedi, un'area di stabilità (detta cono di stabilità), all'interno della quale un individuo riesce a muovere il suo centro di massa senza variare la base di appoggio [5]. Pertanto, l'equilibrio rappresenta una zona dello spazio determinata dalla base di appoggio ed a sua volta influenzata dalle limitazioni articolari, dalla forza muscolare e dalle informazioni sensoriali disponibili ad identificare i limiti di stabilità. Il nostro sistema nervoso centrale ha una rappresentazione interna dell'area del cono di stabilità che è utilizzata per mantenere il controllo posturale. Le Strategie di Movimento sono definite come le modalità attraverso le quali è possibile mantenere il controllo posturale dopo perturbazioni esterne o autogenerate [6]. Le strategie di movimento sono di tre tipi: di caviglia, d'anca e del passo. Le prime due sono utilizzate per rispondere a perturbazioni di entità lieve che non richiedono l'allargamento della base di appoggio. Esse permettono di spostare il Centro di Pressione (comunemente abbreviato CP) in direzione antero-posteriore (per la strategia di caviglia) e in direzione medio-laterale (per la strategia di anca). In caso di perturbazione esterna per la quale le strategie d'anca e caviglia non sono sufficienti a garantire il controllo posturale, la strategia del passo richiede un aumento della base di appoggio. Le strategie di movimento possono essere attivate in modalità feedback (o reattiva) oppure in modalità feedforward (anticipatoria). Nel controllo a feedback i segnali provenienti dai recettori sensoriali vengono confrontati con un segnale di riferimento (condizione da mantenere). La differenza fra questi due segnali è detta segnale di errore, viene utilizzata per

regolare e correggere l'uscita motoria. È un sistema di controllo lento, la risposta può raggiungere centinaia di millisecondi. Il controllo a feedforward è invece un controllo anticipatorio e agisce prima che una perturbazione avvenga. Le informazioni sensoriali vengono utilizzate per prevenire gli effetti di tale perturbazione. È estremamente veloce, viene affinato mediante l'apprendimento, modifica le azioni promosse dai meccanismi a feedback [7].

Le "strategie sensoriali" rappresentano l'integrazione di tutte le informazioni che vengono raccolte dal sistema somatosensoriale, visivo e vestibolare. Un soggetto sano in un ambiente ben illuminato, appoggiato su di una base di supporto stabile, si affida al 70% al sistema somatosensoriale, al 20% a quello vestibolare e al 10% a quello visivo [8]. Al mutare del contesto sensoriale (ad esempio, superficie instabile o ad occhi chiusi) il contributo dei singoli sistemi varia (reweighting) per mantenere un efficace controllo posturale e prevenire le cadute.

L' "orientamento spaziale" descrive la capacità di orientare il corpo rispetto alla gravità, alla superficie di appoggio e all'ambiente esterno. In questo contesto la persona ha una propria rappresentazione del corpo nello spazio [9], creando un senso di verticalità e direzionalità che è punto di riferimento nei movimenti del soggetto. In pazienti con neglect, ad esempio, questi riferimenti spaziali possono risultare alterati [10].

Il "controllo dinamico" riguarda l'abilità del soggetto di controllare lo spostamento del centro di massa quando esso esce dal cono di stabilità, come durante l'esecuzione dei passaggi posturali e il cammino [11]. I pazienti con disturbi dell'equilibrio e a rischio di caduta tendono ad avere delle escursioni anomale del centro di massa non bilanciate da un adeguato spostamento dei segmenti corporei con un conseguente aumento del rischio di caduta [12].

I processi cognitivi (in particolare modo l'attenzione) sono attivamente implicati nel controllo posturale e il loro coinvolgimento aumenta in modo proporzionale all'aumentare di difficoltà di un ulteriore compito con-

comitante [4]. Durante compiti di dual task cognitivo-motorio (dove come compito motorio consideriamo il mantenimento della postura), le risorse cognitive necessarie per lo svolgimento efficace di entrambi i task sono maggiori rispetto a una condizione in cui viene richiesto di eseguire un solo task alla volta (ad esempio il mantenimento della postura). In presenza di malattie neurologiche (i.e., decadimento cognitivo, lesione cerebrale e malattie neurodegenerative), tuttavia, le risorse cognitive a disposizione del soggetto sono limitate. Ne consegue che questi soggetti, in condizioni di doppio compito, dovranno distribuire le loro scarse risorse attentive tra il controllo posturale e il compito cognitivo, svolgendoli entrambi in modo non ottimale. Ciò espone il paziente a rischio di caduta [13,14]. Esercizi orientati al dual task training possono portare ad un miglioramento del controllo posturale in persone con disabilità neurologica [15-17].

Non è possibile affermare che un'alterazione a carico di un solo sistema possa condurre direttamente ad una disabilità per un paziente, in quanto la complessa interazione tra i diversi sistemi del controllo posturale e la loro capacità vicariante limitano la possibilità di individuare una corrispondenza univoca tra alterazione funzionale e disabilità. Questo comporta la necessità di valutare tutti i sistemi coinvolti per individuare le specifiche compromissioni come previsto dal Balance Evaluation Systems Test - BEST Test (http://www.bestest.us/test_copies/) e successivamente implementare interventi riabilitativi specifici secondo un approccio fisiopatologico ed individualizzato [18,19] basato sulla conoscenza del tipo di disturbo sottostante [20, 21]. È noto, inoltre, come il controllo nervoso della postura ed equilibrio non dipendano da un unico centro nervoso, ma dall'interazione di diversi network sensori-motori e cognitivi [22]. Da ciò è possibile evincere come anche dal punto di vista valutativo, il clinico debba concentrare la sua attenzione anche sulla natura e sede della lesione nervosa [3, 23].

Un settore emergente nell'ambito della neuroriabilitazione è rappresen-

tato dallo sviluppo di dispositivi robotici ed elettromeccanici per la riabilitazione degli esiti motori conseguenti a patologie neurologiche. Un robot è un dispositivo elettromeccanico dotato di attuatori, un sistema di sensori e un sistema di controllo [24]. Durante gli ultimi venti anni sono stati sviluppati un numero rilevante di dispositivi per la riabilitazione del cammino [25] sia per l'età evolutiva che per quella adulta. Tali dispositivi hanno mostrato di essere efficaci anche nel migliorare il controllo posturale in condizioni statiche e dinamiche in modo "indiretto" attraverso una combinazione di effetti su forza muscolare, reazioni posturali, strategie di movimento, condizionamento e resistenza all'esercizio [26]. Gli effetti sul controllo posturale dei dispositivi robotici per la riabilitazione del cammino sono stati riportati [27], mentre i dispositivi specificatamente sviluppati per la riabilitazione del controllo posturale sono stati parzialmente esplorati.

Lo scopo di questa scoping review è riportare la letteratura sui dispositivi robotici ed elettromeccanici espressamente utilizzati per la riabilitazione del controllo posturale in pazienti con disabilità di origine neurologica sia in età evolutiva sia adulta e descrivere la loro applicazione nel contesto clinico. Il presente lavoro permetterà di suggerire lo specifico ruolo riabilitativo dei diversi dispositivi robotici ed elettromeccanici secondo il modello eziologico [3] e suggerire eventuali settori non ancora esplorati per studi futuri.

Materiali e metodi:

È stata condotta una ricerca della letteratura da Maggio 2021 a Giugno 2021. Gli studi selezionati hanno considerato la riabilitazione assistita da robot per soggetti affetti da malattie neurologiche. La definizione proposta da Siciliano et al. è stata usata per identificare i dispositivi robotici [24]. Sono stati inclusi pazienti con condizioni neurologiche acquisite e congenite come ictus, lesioni cerebrali traumatiche (TBI), sclerosi multipla (SM), Malattia di Parkinson (PD), lesioni del midollo spinale (SCI) e paralisi cerebrale (CP), consideran-

do sia le fasi acute che croniche della malattia. Sono stati considerati solo studi clinici scritti in inglese, studi pilota e studi osservazionali. Sono stati esclusi gli studi clinici che combinano approcci robotici con altre tecnologie come la stimolazione cerebrale non invasiva e la stimolazione elettrica funzionale e studi che utilizzano dispositivi robotici per la riabilitazione del cammino.

Due autori hanno cercato in modo indipendente e sincrono in MEDLINE e Cochrane Library.

Per quanto riguarda gli studi clinici è stata utilizzata la seguente stringa di ricerca per MEDLINE

```
(((((cerebral stroke[MeSH Terms]) OR (Chronic Stroke)) OR (Parkinson)) OR (Ataxia)) OR (head trauma)) OR (multiple sclerosis)) OR (neurological condition*)) OR (palsy)) OR (cerebral palsy) AND ((clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (fft[Filter]) AND (english[Filter]) AND (2009:2021[pdat]))) AND (((Robot) OR (exoskeleton)) OR (end-effector)) OR (robotics)) OR (exoskeleton device) AND ((clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (fft[Filter]) AND (english[Filter]) AND (2009:2021[pdat]))) AND ((postural balance[MeSH Terms]) OR (equilibrium) AND ((clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (fft[Filter]) AND (english[Filter]) AND (2009:2021[pdat]))) AND ((clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (fft[Filter]) AND (english[Filter]) AND (2009:2021[pdat]))) AND ((rehabilitation) OR (therapy)) OR (recovery) AND ((clinicaltrial[Filter] OR randomizedcontrolledtrial[Filter]) AND (fft[Filter]) AND (english[Filter]) AND (2009:2021[pdat])))
```

Per Cochrane Library è stata utilizzata la seguente stringa di ricerca (stroke OR head trauma OR multiple sclerosis OR Parkinson OR ataxia OR neurological conditional OR palsy OR cerebral palsy) AND (Robotics OR simulator OR simulation OR "Exoskeleton Device") AND ("postural balance" OR equilibrium OR "balance postural control") AND (rehabilitation OR recovery OR therapy)

Per ogni articolo, sono state riportate le (1) caratteristiche cliniche (autori

dello studio, caratteristiche cliniche della popolazione, il disegno dello studio e gli scopi della riabilitazione); (2) Tipologia di dispositivo robotico; (3) registrazione con marchio CE.

Risultati

Dalla ricerca in letteratura sono stati identificati in tutto 31 studi in MEDLINE e 54 in Cochrane Library pubblicati tra novembre 2009 e maggio 2021. Dopo lettura dei titoli ed abstract sono stati esclusi 26 in MEDLINE e 48 in Cochrane Library perché non rispondenti ai criteri di selezione. Cinque lavori sono stati eliminati in quanto duplicati. Al termine della fase di screening sono stati inclusi nella revisione complessivamente sei lavori.

Due studi hanno analizzato pazienti con esiti di paralisi cerebrale infantile per un totale di 68 pazienti con età compresa tra i 2 e i 18 anni. Tre studi hanno riguardato pazienti con esiti di ictus cerebrale in fase cronica per un totale di 101 pazienti, un solo studio ha riguardato la malattia di Parkinson. Tutti gli studi presentavano un disegno sperimentale del tipo randomizzato controllato.

Il tipo di intervento prevedeva l'utilizzo di un dispositivo di Horse Riding Simulator nelle versioni FORTIS, KOREA, OSIM U-Gallo e JOBA applicato nei 2 studi sulle PCI e in uno studio con ictus cronico. Uno studio utilizzava il dispositivo Motorized Ankle Stretcher (MAS) in pazienti con ictus cronico, uno studio il dispositivo 3DBT/33 sempre in pazienti con ictus cronico e uno studio utilizzava Hunova nella malattia di Parkinson. Quattro studi proponevano un intervento intensivo con un numero di sessioni settimanali comprese tra 3 e 6 per una durata complessiva del trattamento variabile dalle 4 alle 12 settimane. Due studi proponevano una sessione settimanale dalle 4 alle 10 settimane.

Per quanto riguarda i bambini sono state utilizzate, come misure di outcome, la Gross Motor Function Measure-66 e la Sitting Assessment Scale. Nei soggetti adulti sono state utilizzate misure di valutazioni eterogenee tra i diversi studi: vengono utilizzate sia misure strumentali (GAITRite sys-

	Popolazione	Disegno di studio	Tipo di intervento	Frequenza/durata sessione/durata intervento	Informazioni tecniche del dispositivo	Misure di Outcome	Risultati	Marchio CE
Herrero P et al., 2012;	PCI n:38 pz con (4-18 anni) GS:19; GC:19	RCT	GS: Horse Riding Simulator ON GC: Horse Riding Simulator OFF	1 sessione a settimana/15 min per sessione/10 settimane	Horse Riding Core Trainer Exercise Equipment, JOBA prodotto da "Matshuita (Panasonic)	GMFM-66 (Sitting Dimension e Total score); SAS.	La terapia con HRS ON migliora l'equilibrio da seduto nei bambini con PCI e l'effetto è maggiore nei bambini con maggiore disabilità. L'effetto del miglioramento si è mantenuto anche dopo aver sospeso la terapia.	NO
Chinniah et al., 2020;	PCI n: 30 pz con (2-4 anni). GS:15; GC:15	RCT	GS: 30 min di fisioterapia convenzionale + 15 minuti di Horse riding simulator GC: 30 min di fisioterapia convenzionale	GS: 3 sessioni a settimana/45 minuti per sessione/ 12 settimane GC: 3 sessioni a settimana/30 minuti per sessione/ 12 settimane	OSIM U-Gallop (OS-950 Gallop 2. Ha 4 tipologie di velocità manuali e un programma automatico con cambiamenti nella velocità pre-programmati. Le oscillazioni avvengono su tutti i piani di movimento, frontale sagittale e trasversale.	GMFM-66 (Sitting Dimension)	il gruppo sottoposto ad hippotherapy ha mostrato un maggior miglioramento alla GMFM rispetto al gruppo di controllo fino a 12 settimane	NO
Park et al., 2013	ictus cronico n: 67 pz con GS: 34 GC:33	RCT	GS: fisioterapia convenzionale + Horse riding simulator GC: fisioterapia convenzionale + esercizi a corpo libero per la stabilità del tronco	Fisioterapia convenzionale: 6 sessioni a settimana/8 settimane Intervento/controllo: 3 sessioni a settimana/35 min per sessione/8 settimane	Horseback riding simulator FORTIS, KOREA con 100 differenti programmi di esercizi. È stato selezionato un esercizio con un ritmo in avanti ed in dietro confortevole (velocità avanti/indietro: 39m/min per circa 90-100 movimenti, su e giù 73 m/min per circa 90-100 movimenti. 35 minuti 3 volte a settimana, di solito 15 + 5 pausa + 15	KAT (equilibrio statico); - BBS (equilibrio dinamico)	horseback riding ha portato a migliori risultati rispetto al gruppo di controllo	NO
Yoo et al., 2018;	ictus cronico n: 16 pz con GS:8; GC:8	RCT	GS: Motorized ankle stretcher (MAS) GC: esercizi di stretching con tavoletta	2 sessioni a settimana/30 min per sessione/3,5 settimane	MAS (motorized ankle stretcher), costituito da due pedane con un attuatore lineare in-linea che generano rispettivamente dorsiflessione ed eversione e supportano i carichi imposti sulle pedane mentre paziente esegue esercizi di dorsiflessione e/o eversione regolando la velocità e la quantità di movimento	-ROM TT lato affetto -SOT -Parametri spazio-temporali del cammino con GAITrite walkway system	GS: miglioramento significativo del ROM della caviglia, del punteggio al SOT, dei parametri del cammino. CG: miglioramento significativo solo al SOT	NO
Min et al., 2020	ictus cronico n: 38 pz con GS:19; GC:19	RCT	GS: 3DBT-33 (Trunk Stability Rehabilitation Robot Trainer) GC: fisioterapia convenzionale	GS: 5 sessioni a settimana/60 min per sessione/4 settimane GC: 5 sessioni a settimana/30 min per sessione/4 settimane	3DBT-33: robot end-effector usato per il training della stabilità del tronco e per il rinforzo della muscolatura degli arti inferiori. È possibile per il paziente eseguire esercizi usando un contesto di gioco grazie a dei sensori posizionati sulla seduta e sulla piattaforma	- BBS, - (FAC - TUG ;K-MBI;FMA-LE.	In entrambi i gruppi miglioramenti statisticamente significativi in tutti i parametri (FMA-LE, K-MBI, FAC, BBS e TUG) tra pre-valutazione e follow up. Ci sono state differenze statisticamente significative nella FMA-LE, K-MBI e BBS tra il gruppo sperimentale e il gruppo di controllo. Non c'è stata alcuna differenza significativa nella FAC (P=0,935) e nel TUG (P=0,442) .	NO
Spina et al., 2021;	Malattia di Parkinson n: 22 pz con GS:11; GC:11	RCT	GS: training dell'equilibrio con dispositivo Hunova GC: training dell'equilibrio convenzionale	5 sessioni a settimana/ 45 min a sessione/ 4 settimane	Hunova: Hunova® è un robot end-effector "basato su piattaforma" composto da 2 piattaforme elettromeccaniche. La piattaforma robotica consente di eseguire esercizi sia in posizione eretta che seduta. Consente la terapia passiva, attiva, propriocettiva e assistiva.	Misure di outcome primarie: -Mini BESTest -BBS Misure di outcome secondarie: -10-Meter Walk Test -5 times Sit to stand test -Parkinson's Disease Questionnaire 39	In entrambi i gruppi c'è stato un miglioramento significativo delle misure di outcome. Il gruppo sperimentale ha ottenuto risultati significativamente migliori rispetto al gruppo di controllo sia nella valutazione post-intervento che nel follow-up negli outcome primari	SI

Legenda: GMFM-66: Gross Motor Function Measure-66; SAS: Sitting Assessment Scale; KAT: Kinesthetic Ability Trainer; BBS: Berg Balance Scale; ROM: Range Of Motion; SOT: Sensory Organization Test; FAC: Functional Ambulation Categories; TUG: Time Up and Go test; K-MBI: Korean Modified Barthel Index; FMA-LE: Fugl-Meyer Assessment of Lower Extremity; Mini BESTest: Mini Balance Evaluation Systems Test;

tem, Kinesthetic Ability Trainer, misurazione del ROM di caviglia) che scale di valutazione per valutare l'equilibrio come Berg Balance Scale, Time Up and Go, Mini BESTest, il test di organizzazione sensorimotria, Functional Ambulation Categories, Korean Modified Barthel Index, Fugl-Meyer Assessment of Lower Extremity. Un solo dispositivo è provvisto di marchio CE (Hunova).

Discussione

Dalla presente Scoping Review emerge come la riabilitazione dei disturbi del controllo posturale mediante dispositivi robotici ed elettromeccanici espressamente sviluppati per tale scopo è attualmente limitata. Di contro i pochi studi esistenti sono stati condotti con disegni sperimentali rigorosi (RCT) e nella maggior parte dei casi su ampie casistiche.

Nonostante, al momento, la ricerca riguardo i dispositivi robotici nella riabilitazione del controllo posturale sia ancora in una fase preliminare, dall'analisi della letteratura sono emersi degli spunti interessanti riguardo la potenzialità di questa modalità di intervento. Nei soggetti con paralisi cerebrali infantile, ad esempio, la simulazione di ippoterapia somministrata tramite il dispositivo Horse Riding Core Trainer Exercise Equipment JOBA, mostra risultati promettenti sul controllo dell'equilibrio in posizione seduta (misurato con Gross Motor Function Measure) [28,29]. L'ippoterapia è definita come un approccio di riabilitazione per pazienti con disabilità di diversa natura che si basa sull'utilizzo dell'equitazione per fornire stimoli di carattere fisico e cognitivo al fine di migliorare sia funzioni motori che neuropsicologiche. Nel caso di utilizzo di dispositivi robotici, tale trattamento si basa sul principio della generazione di destabilizzazioni esterne erogate dal dispositivo in modo ritmico sui tre piani di movimento stimolando i riflessi posturali [30]. Con riferimento al contesto eziologico dei disturbi del controllo posturale questo dominio potrebbe agire direttamente sulle strategie di movimento e potrebbe essere quindi particolarmente efficace in quei pazienti che alla valutazione

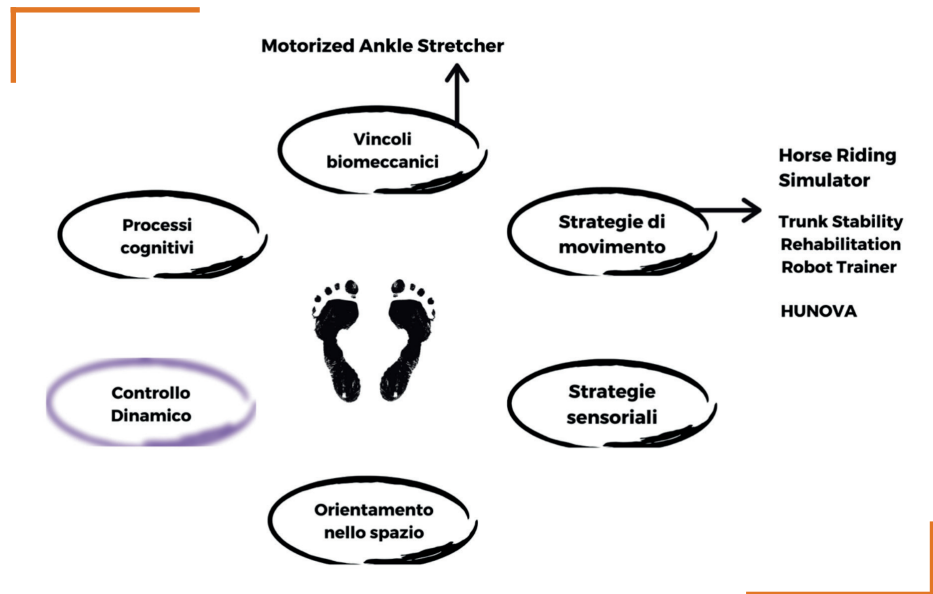


Figura 1 Domini coinvolti nel controllo posturale e il possibile ruolo degli approcci riabilitativi robot-assistiti.

presentano un deficit in uno di questo sistema (**Figura 1**). Uno studio simile è stato condotto in pazienti con ictus in fase cronica (> 6 mesi) sebbene mediante l'utilizzo di un dispositivo differente (Horseback Riding simulator FORTIS). Anche in questo caso si è assistito ad un miglioramento del controllo posturale sia statico che dinamico [31]. Gli studi selezionati, mettono in evidenza le potenzialità di un trattamento tramite simulatore robotico nella riabilitazione del controllo posturale nella popolazione neurologica, tuttavia i campioni di piccole dimensioni e la mancanza di follow-up nel lungo termine rendono necessario approfondire l'argomento con ulteriori ricerche.

Un altro dispositivo che sembra mostrare promettenti opportunità nell'ambito della riabilitazione del controllo posturale è il dispositivo MAS, costituito da due pedane con un attuatore lineare in-linea che generano rispettivamente dorsiflessione ed eversione e supportano i carichi imposti sulle pedane mentre paziente esegue esercizi di dorsiflessione e/o eversione regolando la velocità e la quantità di movimento. In questo caso, il dispositivo utilizzato, mira a migliorare il sottosistema dei vincoli biomeccanici, in particolare la limitazione in dorsiflessione di caviglia, che può essere responsabile del deficit di controllo posturale del paziente (**Figura 1**). Il dispositivo è stato studiato

in pazienti con ictus, mostrando un miglioramento del ROM della tibio-tarsica e del controllo posturale [32] fino ad un mese di follow-up.

Nei pazienti con ictus è stato studiato il dispositivo Trunk Stability Rehabilitation Robot Trainer ideato appositamente per la riabilitazione del controllo posturale. Il paziente si trova seduto o in stazione eretta, con i piedi inseriti all'interno di un poggia piedi, che può essere comandato grazie all'utilizzo di sensori attaccati alla sedia e due pulsanti posizionati a sinistra e destra della sedia stessa. È possibile tramite i due pulsanti spostare il poggia piedi nelle diverse direzioni provocando uno spostamento del centro di massa e di conseguenza richiedendo una differente attività muscolare per il mantenimento della posizione.

Il training è quindi svolto con una modalità basata sul feed-back inviato al paziente. Ad esempio, il paziente deve spostare il carico da destra a sinistra fino a sentire un suono che indica la corretta quantità di carico sulla parte interessata. Un campione di pazienti con ictus cronico è stato sottoposto ad una sessione al giorno da 30 minuti per 5 giorni a settimana per 4 settimane ed ha mostrato un miglioramento del controllo posturale e dell'equilibrio che si è mantenuto al follow-up di 8 settimane [33]. Il focus in questo training è quello di migliorare il sottosistema delle strategie di movimento (**Figura 1**).

Infine, l'unico dispositivo registrato con marchio CE è il dispositivo robotico end-effector Hunova costituito da due piattaforme elettromeccaniche, utilizzabile sia da seduto che in stazione eretta, che genera delle perturbazioni nello stato di equilibrio del soggetto, il quale deve reagire sfruttando le reazioni posturali a feed-back. Il dispositivo è stato studiato in soggetti con malattia di Parkinson di grado lieve (Stadiazione Hoen Yahr con punteggi di 1 e 2) ed ha mostrato risultati positivi sul miglioramento del controllo posturale, simili al trattamento convenzionali ma con un mantenimento dei risultati alla valutazione di follow-up associato ad una riduzione del rischio di caduta e maggiore qualità di vita. Anche in questo caso il miglioramento prende di mira i sottosistemi del controllo dinamico e delle strategie di movimento (**Figura 1**) [32].

I dispositivi studiati e ideati per la riabilitazione del controllo posturale che abbiamo analizzato nella nostra revisione mostrano risultati interessanti e buone prospettive per il loro utilizzo nella pratica clinica. Gli studi analizzati tuttavia presentano delle limitazioni, come il numero ridotto di partecipanti e l'esecuzione di protocolli riabilitativi non sempre riproducibili all'interno dei setting clinici in termini di disponibilità di tali strumentazioni, ma anche in termini di intensità dei trattamenti, limitando la validità esterna degli studi.

Abbiamo visto, inoltre, come sia fondamentale indirizzare la riabilitazione verso i sottosistemi che risultano deficitari nel paziente: a tal proposito, la maggior parte dei dispositivi robotici sono finalizzati al miglioramento dei vincoli biomeccanici e delle strategie di movimento. Permangono inesplorate le potenzialità dei dispositivi robotici nei sottosistemi delle strategie sensoriali, dei processi cognitivi e dell'orientamento dello spazio. Non consideriamo il controllo dinamico, in quanto abbiamo escluso i dispositivi ideati per la riabilitazione del cammino.

Conclusioni

I dispositivi tecnologici ideati per la riabilitazione del controllo posturale

sono ancora pochi, gli studi a riguardo mostrano interessanti prospettive per la loro implementazione all'interno della pratica clinica.

Eventuali ringraziamenti

Indicazione di eventuali finanziamenti o contributi educazionali: L'attività di ricerca di Sanaz Pournajaf è supportata dal Ministro Italiano della Salute [Ricerca Corrente]"

Indicazione di eventuali corsi, convegni o congressi durante i quali sia stato presentato il materiale;

Bibliografia

- Ivanenko, Y., & Gurfinkel, V. S. Human Postural Control. *Frontiers in neuroscience* (2018), 12, 171. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00171>
- Blain H, Miot S, Bernard PL. How Can We Prevent Falls? Aug 21. In: Falaschi P, Marsh D, editors. *Orthogeriatrics: The Management of Older Patients with Fragility Fractures* (2021) Cham (CH): Springer; 2021. Chapter 16. PMID: 33347226.
- Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*. (2006); 35 Suppl 2:ii7-ii11.
- Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture*. (2002) Aug;16(1):1-14. doi: 10.1016/s0966-6362(01)00156-4. PMID: 12127181.
- McCullum, G., & Leen, T. K. (1989). Form and exploration of mechanical stability limits in erect stance. *Journal of motor behavior* (1989) 21(3), 225–244. <https://doi.org/10.1080/00222895.1989.10735479>
- Horak F. B. Clinical measurement of postural control in adults. *Physical therapy* (1987), 67(12), 1881–1885. <https://doi.org/10.1093/ptj/67.12.1881>
- Seidler, R. D., Noll, D. C., & Thiers, G. Feedforward and feedback processes in motor control. *NeuroImage*, (2004). 22(4), 1775–1783. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.05.003>
- Peterka R. J. Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of neurophysiology*, 88(3), (2002). 1097–1118. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.3.1097>
- Karnath, H. O., Ferber, S., & Dichgans, J. The neural representation of postural control in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, (2000). 7(25), 13931–13936. <https://doi.org/10.1073/pnas.240279997>
- Karnath, H. O., Fetter, M., & Niemeier, M. Disentangling gravitational, environmental, and egocentric reference frames in spatial neglect. *Journal of cognitive neuroscience*, (1998) 10(6), 680–690. <https://doi.org/10.1162/089892998563095>
- Winter, D. A., MacKinnon, C. D., Ruder, G. K., & Wieman, C. An integrated EMG/biomechanical model of upper body balance and posture during human gait. *Progress in brain research*, (1993) 97, 359–367. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(08\)62295-5](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(08)62295-5)
- Prince F, Corriveau H, Hébert R, Winter DA. Gait in the elderly. *Gait & Posture*. (1997) ;5(2):128-135. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(97\)01118-1](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(97)01118-1)
- Ghai S, Ghai I, Effenberg AO. Effects of dual tasks and dual-task training on postural stability: a systematic review and meta-analysis. *Clin Interv Aging*. (2017) Mar 23;12:557-577. doi: 10.2147/CIA.S125201. PMID: 28356727; PMCID: PMC5367902.
- Roostaei M, Raji P, Morone G, Razi B, Khademi-Kalantari K. The effect of dual-task conditions on gait and balance performance in children with cerebral palsy: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *J Bodyw Mov Ther*. (2021) Apr;26:448-462. doi: 10.1016/j.jbmt.2020.12.011. Epub 2020 Dec 9. PMID: 33992282.
- Martino Cinnera A, Bisirri A, Leone E, Morone G, Gaeta A. Effect of dual-task training on balance in patients with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*. (2021) Apr 20;26:2692155211010372. doi: 10.1177/02692155211010372. Epub ahead of print. PMID: 33874763.
- He Y, Yang L, Zhou J, Yao L, Pang MYC. Dual-task training effects on motor and cognitive functional abilities in individuals with stroke: a systematic review. *Clin Rehabil*. (2018) Jul;32(7):865-877. doi: 10.1177/0269215518758482. Epub 2018 Feb 23. PMID: 29473480.
- Li Z, Wang T, Liu H, Jiang Y, Wang Z, Zhuang J. Dual-task training on gait, motor symptoms, and balance in patients with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*. (2020) Nov;34(11):1355-1367. doi: 10.1177/0269215520941142. Epub 2020 Jul 13. PMID: 32660265.
- Franchignoni F, Horak F, Godi M, Nardone A, Giordano A. Using psychometric techniques to improve the Balance Evaluation. *Systems Test: the mini-BESTest*. *J Rehabil Med* (2010) ;42:323-31
- Yingyongyudha, A., Saengsirisuwan, V., Panichaporn, W., & Boonsinsukh,

- R.. The Mini-Balance Evaluation Systems Test (Mini-BESTest) Demonstrates Higher Accuracy in Identifying Older Adult Participants With History of Falls Than Do the BESTest, Berg Balance Scale, or Timed Up and Go Test. *Journal of geriatric physical therapy* (2016), 39(2), 64–70. <https://doi.org/10.1519/JPT.0000000000000050>
20. Hugues A, Di Marco J, Janiaud P, Bonan I, Gueyffier F, Rode G. Efficiency of physical rehabilitation on postural imbalance after stroke: Systematic review and meta-analysis. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. (2016);59:e78.
21. Pollock, A., Baer, G., Langhorne, P., & Pomeroy, V. Physiotherapy treatment approaches for the recovery of postural control and lower limb function following stroke: a systematic review. *Clinical rehabilitation*, (2007) 21(5), 395–410. <https://doi.org/10.1177/0269215507073438>
22. Takakusaki K. Functional Neuroanatomy for Posture and Gait Control. *J Mov Disord*. 2017 Jan;10(1):1-17. doi: 10.14802/jmd.16062. Epub (2017) Jan 18. PMID: 28122432; PMCID: PMC5288669
23. Topper AK, Maki BE, Holliday PJ. Are activity-based assessments of balance and gait in the elderly predictive of risk of falling and/or type of fall? *J Am Geriatr Soc*. (1993) May;41(5):479-87. doi: 10.1111/j.1532-5415.1993.tb01881.x. PMID: 8486878;
24. Bruno Siciliano, Lorenzo Sciacivco, Luigi Villani, Giuseppe Oriolo. *Robotics: Modelling, Planning and Control*, Springer (2009)
25. Gandolfi, M., Tinazzi, M., Magrinelli, F., Busselli, G., Dimitrova, E., Polo, N., Manganotti, P., Fasano, A., Smania, N., & Geroin, C. Four-week trunk-specific exercise program decreases forward trunk flexion in Parkinson's disease: A single-blinded, randomized controlled trial. *Parkinsonism & related disorders*, (2019) 64, 268–274. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2019.05.006>
26. Gandolfi M, Dimitrova E, Nicolli F, Modenese A, Serina A, Waldner A, Tinazzi M, Squintani G, Smania N, Geroin C. Rehabilitation procedures in the management of gait disorders in the elderly. *Minerva Med*. (2015) Oct;106(5):287-307. Epub 2015 Oct 27. PMID: 26505839
27. Picelli A, Capecci M, Filippetti M, Varalta V, Fonte C, DI Censo R, Zadra A, Chignola I, Scarpa S, Amico AP, Antenucci R, Baricich A, Benanti P, Bissolotti L, Boldrini P, Bonaiuti D, Castelli E, Cavalli L, DI Stefano G, Draicchio F, Falabella V, Galeri S, Gimigliano F, Grigioni M, Jonsdottir J, Lentino C, Massai P, Mazzoleni S, Mazzon S, Molteni F, Morelli S, Morone G, Panzeri D, Petrarca M, Posteraro F, Senatore M, Taglione E, Turchetti G, Bowman T, Nardone A. Effects of robot-assisted gait training on postural instability in Parkinson's disease: a systematic review. *Eur J Phys Rehabil Med*. (2021) Apr 7. doi: 10.23736/S1973-9087.21.06939-2.
28. Herrero, P., Gómez-Trullén, E. M., Asensio, A., García, E., Casas, R., Monserrat, E., & Pandyan, A. (2012). Study of the therapeutic effects of a hippotherapy simulator in children with cerebral palsy: a stratified single-blind randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation*, 26(12), 1105–1113. <https://doi.org/10.1177/0269215512444633>
29. Chinniah, H, Natarajan, M, Ramanathan, R, Ambrose, JWF. Effects of horse riding simulator on sitting motor function in children with spastic cerebral palsy. *Physiother Res Int*. (2020); 25:e1870. <https://doi.org/10.1002/pri.1870>
30. Janura, M., Peham, C., Dvorakova, T., & Elfmark, M. An assessment of the pressure distribution exerted by a rider on the back of a horse during hippotherapy. *Human movement science*, (2009) 28(3), 387–393. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2009.04.001>
31. Park, J., Lee, S., Lee, J., & Lee, D. The effects of horseback riding simulator exercise on postural balance of chronic stroke patients. *Journal of physical therapy science* (2013), 25(9), 1169–1172. <https://doi.org/10.1589/jpts.25.1169>
32. Yoo, D., Son, Y., Kim, D. H., Seo, K. H., & Lee, B. C. Technology-Assisted Ankle Rehabilitation Improves Balance and Gait Performance in Stroke Survivors: A Randomized Controlled Study With 1-Month Follow-Up. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, (2018) 26(12), 2315–2323. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2018.2879783>
33. Min, J. H., Seong, H. Y., Ko, S. H., Jo, W. R., Sohn, H. J., Ahn, Y. H., Son, J. H., Seo, H. Y., Son, Y. R., Mun, S. J., Ko, M. H., & Shin, Y. I. Effects of trunk stabilization training robot on postural control and gait in patients with chronic stroke: a randomized controlled trial. *International journal of rehabilitation research. Internationale Zeitschrift für Rehabilitationsforschung. Revue internationale de recherches de readaptation*, (2020) 43(2), 159–166. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000399>
34. Spina, S., Facciorusso, S., Cinone, N., Armiento, R., Picelli, A., Avvantaggiato, C., Ciritella, C., Fiore, P., & Santamato, A. Effectiveness of robotic balance training on postural instability in patients with mild Parkinson's disease: A pilot, single blind, randomized controlled trial. *Journal of rehabilitation medicine*, (2021) 53(2), jrm00154. <https://doi.org/10.2340/16501977-2793>

Sono stati esclusi dalla presente revisione dispositivi elettromeccanici e robotici per la riabilitazione del cammino.