



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA

POLO UNIVERSITARIO SAVONESE

FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA

SOCIETA' DI PROMOZIONE

DEGLI ENTI SAVONESI PER L'UNIVERSITA'

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

Quali misurazioni nel controllo posturale? Una revisione selettiva della letteratura.

A literature study

Tesi di:
Marchione Veronica Christina

Anno Accademico 2003/2004

INDICE:

QUALI MISURAZIONI NEL CONTROLLO POSTURALE? UNA REVISIONE SELETTIVA DELLA LETTERATURA.....	2
ABSTRACT.....	2
INTRODUZIONE.....	3
DEFINIZIONE DI CONTROLLO POSTURALE.....	4
TEST DI CONTROLLO POSTURALE.....	6
METODO.....	9
<i>Tabella 1a. Reazioni posturali in soggetti sani</i>	11
<i>Tabella 1b. Reazioni posturali in soggetti con disturbo di movimento</i>	13
<i>Tabella 2. Sinergie posturali in persone sane e persone con disturbo del movimento</i>	14
<i>Tabella 3a. Preparazioni posturali in soggetti sani</i>	16
<i>Tabella 3b. Preparazioni posturali in soggetti con disturbo di movimento</i>	18
RISULTATI.....	19
<i>Contesti clinici</i>	19
<i>Schiere di test per destabilizzare il controllo posturale</i>	19
<i>Valutazione del controllo posturale secondo i metodi di misurazione e analisi</i>	20
DISCUSSIONE.....	21
<i>Discussione in relazione ai test clinici</i>	21
<i>Critica agli studi sul controllo posturale</i>	22
<i>Risultati degli studi che hanno un'applicazione nell'attività clinica.</i>	23
<i>I limiti della revisione</i>	23
CONCLUSIONE	24
BIBLIOGRAFIA	25

QUALI MISURAZIONI NEL CONTROLLO POSTURALE? UNA REVISIONE SELETTIVA DELLA LETTERATURA.

ABSTRACT

Testare ed allenare il controllo posturale é un problema importante in tutte le applicazioni della fisioterapia, per il ruolo che questo parametro assume in funzione dell'abilità nel movimento dell'uomo.

Definire e valutare il controllo posturale normale e anormale è di grande rilevanza clinica. Una revisione della letteratura su questo quesito fu fatta recentemente (due decenni fa), mediante i database MEDLINE e le allora ristrette possibilità di PubMed. L'obiettivo fu di ricavare lo stato dell'arte nei campi in cui la ricerca è stata condotta e di descrivere i metodi di analisi dal

punto di vista della rilevanza clinica. 33 articoli sull'argomento rilevarono che gli studi sul controllo posturale sugli individui adulti furono condotti sia su persone sane che su persone con disturbi del movimento dovuti a malattie ortopediche e neurologiche e da età senile.

Nonostante l'uso di un'ampia varietà di metodi analitici, vi è accordo nel processo di valutazione. Nel classificare il controllo posturale sono importanti le misurazioni delle differenze nei parametri posturali prima e dopo il disturbo dell'equilibrio (*di qui in avanti si intende "disturbo dell'equilibrio" un evento destabilizzante provocato da una sollecitazione esterna o interna*), il livello di attività muscolare e le varie misurazioni a distanza.

Ad ogni modo, questa revisione suggerisce un *gap* tra i test utilizzati in fisioterapia, nella pratica clinica e la ricerca di laboratorio sul controllo posturale, i cui parametri spesso sono il risultato dell'alta tecnologia.

INTRODUZIONE

Perché un movimento volontario avvenga è necessario un sistema integrante e funzionante che regoli il controllo posturale¹. Il sistema di controllo posturale guida quei movimenti che sono necessari per poter mantenere l'equilibrio sia a riposo che in movimento. Regola anche la postura e l'attività stabilizzante dei muscoli che avviene prima, durante e dopo un disturbo del controllo posturale².

Il controllo posturale è regolato dai tre organi di senso che collaborano tra di loro. Essi sono 1) il sistema visivo, 2) l'organo vestibolare che comprende sacculo e utricolo e i canali semicircolari e 3) il sistema propriocettivo (i propriocettori nella pelle, nei muscoli, nelle articolazioni e nei legamenti¹.)

Gli organi di senso collaborano in modo integro per poter informare il sistema nervoso centrale (SNC) sul tipo di movimento che il corpo esegue o ha eseguito e dà al corpo stesso e ai segmenti di movimento la possibilità di riconoscere posizioni, movimenti e velocità³. La funzione degli organi di senso è anche importante per poter creare delle rappresentazioni interne di tutte le possibili alterazioni del controllo posturale⁴. Il compito del SNC è di controllare che la muscolatura venga attivata nel momento giusto per poter effettuare i movimenti che permettono un adattamento posturale⁵

DEFINIZIONE DI CONTROLLO POSTURALE

Fino ad oggi i ricercatori non si sono messi d'accordo su una definizione comune del concetto di controllo posturale. Gahery ⁶ divide il concetto in tre parti: 1) anticipazioni posturali, 2) sinergie posturali, e 3) aggiustamenti posturali e studiano il comportamento nel tempo di queste funzioni in relazione al movimento primario. Le anticipazioni posturali (movimenti associati) avvengono prima del movimento primario. Le reazioni posturali avvengono dopo il movimento primario. Le sinergie posturali avvengono insieme o poco dopo il movimento primario e sono quindi difficili da valutare.

Maki ⁷ propone un modello in cui il sistema di controllo posturale funziona come un sistema di feedback negativo, per far sì che il corpo si opponga ad alterazioni dell'equilibrio destabilizzanti. In questo caso il sistema di feedback negativo ha lo scopo di ristabilire o compensare gli effetti di un disturbo dell'equilibrio. Maki ⁸ propone inoltre che il sistema di controllo posturale funzioni tramite due processi, ossia "*open loop*" e "*closed loop*". L'*open loop* prepara il corpo rispetto al movimento che avviene e il "*closed loop*" sente le differenze tra una postura desiderata e quella effettiva.

Maisson⁴ sostiene che il controllo posturale ha tre compiti: contrastare la forza di gravità, mantenere equilibrio e agire da referenza per quanto riguarda la propriocezione e l'attività in relazione all'ambiente.

Hirschfeld⁹ presenta un modello di controllo posturale suddiviso in orientamento posturale e aggiustamento posturale. L'orientamento posturale è la capacità di essere in relazione con l'ambiente intorno a se. L'aggiustamento posturale avviene quando il corpo, dopo un disturbo dell'equilibrio, cerca di rimettersi in equilibrio, o prevede l'influenza dell'alterazione dell'equilibrio.

Horak e Macpherson¹⁰ suggeriscono che il controllo posturale comprende il controllo della posizione del corpo in relazione all'ambiente intorno per quanto riguarda il mantenimento della stabilità e l'orientamento.

Shumway – Cook e Wollacott¹² sostengono che il controllo posturale ha tre compiti: 1) controllo posturale durante l'equilibrio statico oppure il mantenimento indipendentemente dalla posizione seduta o in piedi, 2) controllo posturale anticipatorio, quando l'individuo si protende verso qualcosa, prende o alza un oggetto e 3) controllo posturale reattivo, ossia il ripristino dell'equilibrio dopo un disturbo posturale. Tutte queste teorie hanno in comune che il sistema di

controllo posturale è sempre attivo per poter prevedere, adattare e correggere il corpo dopo cambiamenti nell'ambiente, che diversamente provocherebbero la caduta del soggetto oppure l'assunzione di una postura svantaggiosa. La definizione di controllo posturale potrebbe sembrare divisa dal concetto di equilibrio, che in generale viene utilizzato come sinonimo di controllo posturale¹³. Ritroviamo il tentativo di ridefinire e distinguere i due concetti nella figura 1.

Postura: Descrive l'orientamento dei segmenti del corpo in relazione al vettore della gravità. Viene indicato con misura d'angolazione⁶⁵.

Equilibrio in termine di funzione: Descrive la dinamica del corpo che è necessaria per evitare le cadute. È in relazione alle forze che agiscono sul corpo e ai suoi segmenti⁶⁵.

Stabilità: Per poter mantenere la stabilità in condizioni statiche²¹ la proiezione verticale del centro di massa del corpo deve cadere nell'interno dell'area d'appoggio, limitata dalla posizione dei piedi.

Equilibrio statico in termine fisico: Non esistono forze risultanti, o i momenti di forza¹⁶ risultano uguali a zero. E' necessaria una minima energia (energia di posizione, energia di movimento), nella forma di attività muscolare, per poter mantenere la stabilità.

Controllo posturale: La capacità di preparare, mantenere oppure ristabilire l'equilibrio dipendentemente dalla postura o dall'attività¹⁶.

Disturbo dell'equilibrio: Inteso come effetto destabilizzante per il soggetto.

Fig. 1. *legenda delle definizioni*

Per quanto riguarda le reazioni posturali successive ad un'alterazione del controllo posturale, Nashner et al.^{14, 15} hanno eseguito esami tradizionali e di base. Questi esami suggeriscono che una risposta dovuta ad un disturbo del controllo posturale può avere due principali strategie di movimento, che chiameremo "automatic responses" - risposte automatiche. Le due strategie di movimento vengono chiamate rispettivamente "strategia della caviglia" o "strategia dell'anca" dipendentemente da quale parte del corpo reagisce principalmente rispetto al disturbo dell'equilibrio per quanto riguarda i cambiamenti sull'EMG e i metodi cinematici. Le strategie di movimento sono eseguite con la superficie di appoggio fissa, vale a dire che la persona, nel momento del disturbo, rimane con i piedi fissi sullo stesso posto. Oltre a queste due strategie di movimento, ne viene nominato un terzo: la "strategia del passo", termine utilizzato quando la perturbazione del controllo posturale è così forte che la persona deve fare un passo per evitare di cadere, cambiando in questo caso la superficie di appoggio¹⁶.

TEST DI CONTROLLO POSTURALE

Gli studi sul controllo posturale fanno parte di una scienza relativamente giovane e si effettuano principalmente nei laboratori del movimento. La nomenclatura internazionale chiama la scienza che studia il movimento "*chinesiologia*"¹⁷.

Il metodo di misurazione più frequentemente usato per misurare il controllo posturale si avvale dell'elettromiografia (EMG), di pedane di forza (cinetica) e di attrezzature per l'analisi del movimento (cinematica). L'EMG misura l'attività muscolare in forma di segnali elettrici nelle cellule muscolari¹⁸. La cinetica misura quelle forze che realizzano o frenano il movimento¹⁹. Se il tempo è una variabile conosciuta, tramite la cinematica si possono ricavare la velocità e l'accelerazione.

Altre attrezzature che vengono usate nella chinesiology sono: l'inclinometro, il goniometro elettronico, l'accelerometro e dinamometro. Ci sono vari metodi di misurazione per i differenti strumenti di misurazione, che possono essere utilizzati singolarmente oppure insieme, per poter stabilire come avvengono i movimenti.

I test posturali possono anche essere suddivisi in statici e dinamici. Un esame statico comune è la così detta analisi di oscillazione/rumore posturale, dove la persona che effettua il test sta in piedi su una pedana di forza il cui compito è di rilevare vettori di forza. La pedana di forza fornisce un tipo di onda tridimensionale. In questo esame vengono valutate le sinergie posturali, che in genere vengono utilizzate nei metodi cinetici per esaminare come il COM si sposta. Lo spostamento del COM non può essere studiato senza avere a disposizione metodi cinematici. La proiezione del COM viene denominata diversamente da differenti ricercatori, ma la denominazione più frequente è Centre of Gravity (COG). Spesso non è il COG che viene misurato, ma la forza di reazione dell'area che la persona che effettua il test occupa in piedi, che può essere rilevata da una pedana di forza²⁰. La posizione della forza di reazione fornisce quello che viene chiamato Centre of Pressure (COP) e può essere determinato solo con un metodo cinetico. Nonostante la persona che effettua il test cerca di stare ferma sulla pedana il COP e COM si muovono tutto il tempo²¹. Non esiste quindi una posizione assolutamente immobile in piedi.

L'effettuazione dei test dinamici del controllo posturale si ha quando la superficie sulla quale si posiziona la persona che effettua il test viene spostata in qualche direzione. In questo modo vengono studiate prima di tutto le reazioni posturali. La persona che effettua il test ottiene il feedback, che è in relazione con l'entità del disturbo dell'equilibrio, tramite gli organi di senso che il sistema posturale utilizza. Effetti destabilizzanti possono provenire anche dalla persona che effettua il test, se gli si chiede di muovere uno o più parti del corpo (di solito alzando un braccio). In questo caso la persona che effettua il test sa in anticipo quanto sarà il disturbo posturale, dato che è la persona stessa che decide come il braccio viene alzato (feedforward) e ha modo di studiare prima l'attività posturale. L'attività dei muscoli stabilizzatori avviene prima che il braccio sia alzato: questa attività viene chiamata anticipatoria. La risposta del corpo ad una destabilizzazione dell'equilibrio cambia (outdata) a seconda di come il disturbo si presenti (indata). Si possono anche definire indata i vari test posturali e l'outdata è il risultato della misurazione da attrezzature come l'EMG e la cinetica. Nella figura n. 2 sono elencate una sintesi dei vari test di controllo posturale e il tipo di controllo posturale analizzati in questa revisione della letteratura.

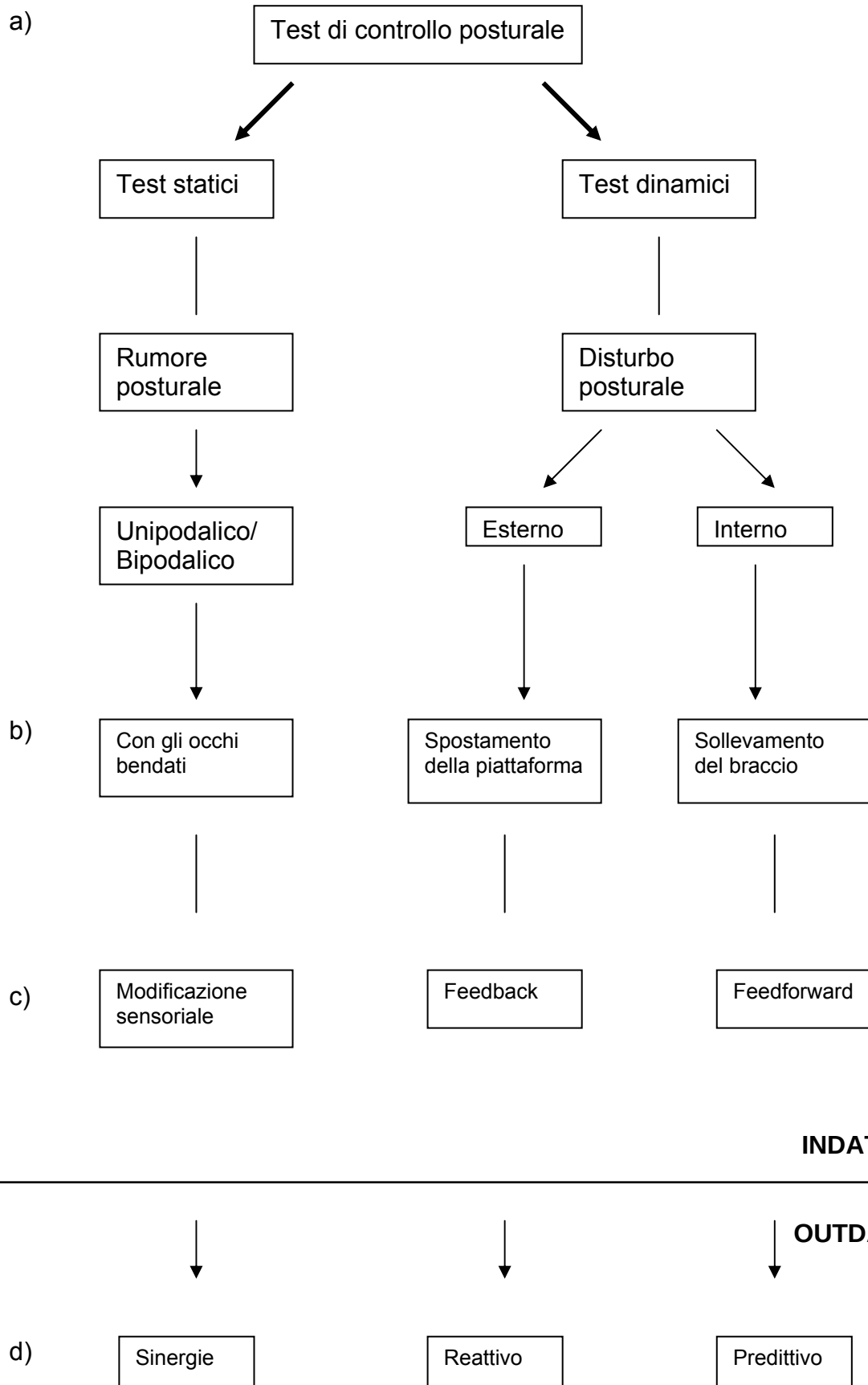


Fig. 2. a) *Classificazione dei test posturali e indata durante i test di misurazione del controllo posturale*, b) *esempi di tre diverse manovre per destabilizzare il controllo posturale*, c) *principi neurofisiologici che sono stati usati* e d) *caratteristiche dell'outdata o tipo di controllo posturale studiato*.

Le conoscenze sul modo con cui il sistema nervoso guida i movimenti si sono modificate negli ultimi due decenni²². È importante che i fisioterapisti che lavorano nell'ambito clinico abbiano la conoscenza sulla ricerca che viene fatta e comprendano i concetti e la distinzione tra equilibrio e controllo posturale¹⁶.

Il controllo posturale è di importanza centrale nella capacità di movimento e può essere allenato^{23 24}. La ricerca scientifica nel ramo del controllo posturale è molto attiva (soltanto in Medline (1966-2004) troviamo complessivamente circa 3317 studi, di cui 247 sono stati aggiunti nell'index nel 2002, 246 studi nel 2003 e 279 nel 2004).

Sarebbe di grande valore vedere come i risultati di questi studi possano essere presi utilizzati in ambito clinico fisioterapico. Per poter verificare questo venne elaborato il seguente questionario:

In quali contesti clinici è stato studiato il controllo posturale negli ultimi anni?

Quali batterie di test sono state utilizzate per lo studio sul controllo posturale?

Quali metodi di analisi sono stati applicati e come è stato valutato il controllo posturale?

METODO

Lo studio della letteratura è stato limitato agli ultimi 24 anni e include lavori sul controllo posturale effettuati in posizione eretta, in posizione seduta, durante il cammino e durante un altro tipo di spostamento corporeo. Lo studio selettivo della letteratura riguarda solo studi fatti sull'uomo e non include studi su bambini o adolescenti (≤ 19 anni). Gli studi inclusi sono quelli con uscita di controllo posturale e dovrebbero includere almeno uno dei metodi di misurazione tra cinematica, cinetica o elettromiografia. Sono stati inclusi solo studi in lingua inglese. Studi con meno di tre soggetti sono stati esclusi.

La ricerca della letteratura è stata effettuata con MEDLINE, con i criteri dei limiti in Pubmed, con le seguenti parole chiave: postural control, elctromyography,

kinetic, kinematic. La strategia di ricerca é stata: [**postural control AND (electromyography OR kinetic OR kinematic)** Field: **All fields**, Limits: **All adult: 19 years, Publication date 1982-2004, only items with abstracts, English, Clinical Trial, Human**]. Il risultato della ricerca ha dato 46 studi (303 studi quando la ricerca non fu limitata a trial clinici e 356 studi quando la ricerca non fu limitata con le parole di ricerca electromyography, kinetic, kinematic). Gli abstract dei 46 studi sono stati letti per vedere se rispettavano i criteri stabiliti. 7 degli studi furono esclusi perché non riguardavano il controllo posturale^{25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, .} Nei casi non sicuri veniva letto tutto lo studio interamente dopodiché furono esclusi altri cinque^{32, 33, 34, 35, 36}. Un altro studio fu escluso poiché includeva meno di tre soggetti nello studio³⁷. Dopo questa fase rimasero 33 studi che furono letti e divisi a seconda che i soggetti fossero sani oppure con disturbi di movimento. Il controllo posturale fu diviso in *Predittivo*, cioè attività posturali che anticipano qualche forma di destabilizzazione dell'equilibrio (anticipazioni posturali), *Sinergie*, cioè il controllo della stabilità posturale in piedi da fermo oppure da seduto fermo (sinergie posturali) chiamate anche oscillazione/rumore posturale e *Reattivo*, cioè attività posturali che seguono dopo un disturbo dell'equilibrio (reazioni posturali). Gli studi inclusi sono sintetizzati nella tabella 1-3 dove sono stati indicati gli obiettivi e le conclusioni degli studi. Sono stati elencati la maniera in cui il controllo posturale fu valutato, il tipo di disturbo dell'equilibrio e il metodo di analisi. Dieci degli studi inclusi sono classificati come studi randomizzati controllati secondo l'index in PubMed^{27, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 67, 69}

Tabella 1a. Reazioni posturali in soggetti sani

Autore	Soggetti	Obbiettivo dello studio	Disturbo del controllo posturale	Metodo di misurazione	Risultato / conclusione
Buchanan & Horak, 2001 ⁵⁸ .	6 soggetti sani (4 femmine, 2 maschi)	Studiare la flessibilità nelle reazioni posturali attraverso l'introduzione di trasizioni in pattern posturali.	Spostamento della superficie d'appoggio nel piano orizzontale. Vibrazione sinusoidale in vari distretti di frequenza. Occhi aperti e chiusi.	Cinetica: Spostamenti del COP (cm) espresso nel dominio della frequenza Cinemática: spostamento della testa (cm), tronco e AAll. Angolo e diagramma d'angolo (°). Angolazioni delle articolazioni (°) nel dominio della frequenza.	Il cambiamento della cinematica senza instabilità può descrivere la capacità di reclutare dei gradi di libertà biomeccanici che consentono al sistema di controllo posturale di cambiare senza diminuire la stabilità.
Cutson et al, 1997 ³⁸	12 anziani sani (>65 anni, sesso non specificato)	Studiare gli effetti del farmaco Diazepam durante differenti perturbazioni/disturbi dell'equilibrio e in contemporanea valutare i test neuropsicologici sull'attenzione.	Spostamento della base d'appoggio della persona e test di functional reach.	EMG: tempo di latenza (ms) Cinetica: rumore/oscillazione posturale, spostamento del COP (in2)	Latenza ritardata durante lo spostamento della base d'appoggio. L'EMG può essere uno strumento non invasivo per studiare gli effetti che il farmaco ha sull'equilibrio e il rischio di cadute nelle persone anziane.
Davis et al, 1997 ³⁹	18 soggetti sani (maschi)	Paragonare le reazioni posturali durante il cammino e l'allettamento con la testa inclinata in basso, durante un periodo di 5 giorni in un gruppo che riceveva allenamento a letto (90 min di cicloergometro/giorno) e un gruppo di controllo.	Camminare sul tapis roulant (3MPH (≈1,3 m/s), 0% pendenza)	EMG: tibiale anteriore, gastrocnemio, bicipite femorale, vasto laterale, IEMG durante 7s cammino sul tapis roulant (mVs)	Il controllo posturale è influenzato dall'allettamento con la testa inclinata in basso, ma non esiste nessuna differenza tra i gruppi.
Elger et al, 1999 ⁵⁶	14 soggetti sani (7 femmine, 7 maschi)	Studiare l'influenza sulla forza della mano mediante una pressione transitoria nei disturbi dell'equilibrio della parte del corpo che il soggetto resisteva attraverso o le AAll o con l'assistenza con forza della mano.	Pressioni improvvise sull'anca/sul bacino tramite un apparecchio.	EMG: tempo di latenza (ms). IEMG (μVs) espressi nel dominio del tempo. Cinetica: la forza di reazione della base, laterale (N) espressa nel dominio del tempo.	In quei casi i soggetti usarono la forza della mano per contrastare il disturbo dell'equilibrio; il tempo di latenza fu uguale nella mano e negli AAll. Essi però poterono modulare essere modulati. L'attivazione parallela viene suggerita essere sotto il controllo centrale.
Fitzpatrick et al, 1996 ⁶³	9 soggetti sani (sesso non specificato)	Caratterizzare il rafforzamento delle reazioni posturali durante disturbi costanti dell'equilibrio.	Pressioni continue sul fianco. Stimolazione galvanica del Nervo vestibolare. Corrente elettrica variabile.	EMG: (soleo) ampiezza (μV), spettro di forza nel dominio del tempo Cinetica: forza (N). Momento di forza (Nm) espresso nel dominio del tempo. Cinemática: Tramite magnetometri, rumore dal piano verticale (Hz).	Il risultato viene interpretato come una scoperta che porta a pensare che i processi feedforward influiscano sulle reazioni posturali mediante il continuo disturbo dell'equilibrio.
Gurfinkel et al, 1995 ⁴⁹	12 soggetti sani (sesso non specificato)	Studiare se i movimenti lenti della superficie d'appoggio della persona possano essere modulati così come il sistema di controllo posturale mantiene l'equilibrio statico	Spostamenti ripetitivi, sinodali e lenti della superficie d'appoggio della persona (piano orizzontale). Occhi chiusi. Una minima influenza sul Nervo vestibolare.	EMG: Soleo, tibiale anteriore, gastrocnemio. Ampiezza (μV) espressa nel dominio del tempo. Cinetica: l'angolazione della caviglia (°) Cinetica: Spostamenti del COP da sommità a sommità. Momento (Nm). Rumore della parte superiore del corpo si misurò con tensiometro	Il processo normale durante condizioni stabili (stabilizzazione del Body Gravity Center (COG) fu ritrovato anche in questo studio, non attorno un punto fissato, ma in relazione alla posizione del corpo in lento cambiamento.

Autore	Soggetti	Obbiettivo dello studio	Disturbo del controllo posturale	Metodo di misurazione	Risultato / conclusione
Henry et al, 1998 ⁵⁹	7 soggetti sani (sesso non specificato)	Studiare le somiglianze e le differenze nelle reazioni posturali durante le alterazioni dell'equilibrio provocate da diverse direzioni per individuare in che modo il sistema nervoso centrale controlla le reazioni posturali nei diversi piani.	Spostamento della base d'appoggio nel piano orizzontale in quattro direzioni: antero-posteriore e mediolaterale.	Cinematica: misure d'angolazione dei segmenti del tronco, ginocchio e caviglia (°) espressi nel dominio del tempo. È stato utilizzato un diagramma di misurazione dell'angolazione tra anca e caviglia. Cinetica: spostamenti del COP e COM (cm) espressi nel dominio del tempo. EMG: ampiezza (μV) espresso nel dominio del tempo per più muscoli degli AAIL e del tronco. Tempo di latenza (ms).	Il controllo del equilibrio statico avviene nella stessa maniera per gli spostamenti della base d'appoggio nelle direzioni antero-posteriore e medio-laterale. Differenze specifiche possono essere spiegate dalle condizioni biomeccaniche prevalenti durante le alterazioni dell'equilibrio nel piano orizzontale.
Hu & Wollacott, 1994 ²³	24 soggetti anziani sani (età 65-90, sesso non specificato)	Determinare se l'allenamento multi sensoriale possa migliorare il controllo posturale descritto tramite EMG e cinematica.	Spostamento orizzontale della base d'appoggio del soggetto.	EMG: Tempo di latenza (ms), frequenza d'attivazione, IEMG Cinematica : misurazione degli angoli articolari espresso nel dominio del tempo	L'allenamento multi-sensoriale è efficace sulle componenti muscolari che modulano il controllo posturale.
Lvoie et al, 1997 ⁵⁷	23 soggetti anziani sani (sesso non specificato)	Esaminare la forza dell'inibizione reciproca dei flessori della caviglia e degli estensori e valutare se questi possano essere controllati indipendentemente dall'attività motoria in atto	Swing pahse in posizione eretta: passo monopodale con o senza movimenti della caviglia. Flessione volontaria della caviglia. Attivazione volontaria del tibiale anteriore Inclinazione posteriore.	Cinematica: Gradi per la dorsiflessione della caviglia. EMG: ampiezza (μV) nel dominio del tempo, riflesso H nel soleo (mV) Hmax/Mmax	La forza dell'inibizione reciproca degli alfa motoneuroni nel soleo possono essere controllati indipendentemente dall'attività motoria dei flessori della caviglia.
Mc Chesney et al, 1996 ⁵⁰	11 soggetti sani (3 femmine, 8 maschi)	Studiare come il pattern di reazione è influenzato da un tono preparatorio che la persona riceve tramite cuffie. 1) Tono specifico e 2) Tono aspecifico	Uno spostamento preciso nel piano orizzontale della base di appoggio della persona.	EMG: tempo di latenza (ms) e ampiezza (V) nel tibiale anteriore e nel gastrocnemio unilateralmente.	Un tono preparatorio diminuisce il tempo di latenza. Tono specifico e tono aspecifico diminuiscono il tempo di latenza allo stesso modo
McIlroy & Maki, 1994 ⁶⁰	5 soggetti (3 maschi, 2 femmine).	Studiare l'esistenza della risposta del corpo sulla "fase di decelerazione" durante lo spostamento della superficie d'appoggio. (La maggioranza degli studi ha soltanto studiato la fase acceleratoria)	Spostamento della base d'appoggio del soggetto. Accelerazione e decelerazioni definite.	EMG: Tempo di latenza (ms) per tibiale anteriore e del gastrocnemio Cinetica: Spostamento del COP (m) e velocità (cm/s). I dati sono descritti nel dominio del tempo.	La previsione dell'inizio della fase di decelerazione aveva un'influenza significativa sul tono muscolare che precedeva la fase di decelerazione.
McIlroy & Maki, 1996 ⁴³	14 soggetti sani in età variabile.	Paragonare giovani ed anziani per quanto riguarda passi compensatori per evitare cadute o disturbi dell'equilibrio subitanei	Spostamenti imprevisti della base d'appoggio, con direzione antero-posteriore e medio-laterale	Cinetica: Spostamenti del COP (cm), velocità (cm/s), dimostrato anche nel tempo del dominio. La forza di reazione di base (N) Cinematica: lunghezza del passo	La capacità di resistere alle destabilizzazioni dell'equilibrio e le misure specifiche come la presenza e il posizionamento di passi multipli potrebbe essere un fattore predittore per evitare il rischio di cadute e una misura per l'intervento.
Rietdyk et al, 1999 ⁵¹	10 soggetti sani maschi	Descrivere le reazioni posturali durante i disturbi dell'equilibrio sul piano medio-laterale.	"Spinte" precise medio-laterali del tronco e del bacino.	Cinetica e cinematica: Spostamenti del COP e COM (cm). Movimenti dei segmenti in gradi. Momento frontale (Nm) espresso nel dominio del tempo.	Il momento tra anca e articolazioni della schiena contribuisce alla maggior parte del controllo del COP. L'attivazione dei muscoli non spiega il controllo.

Tabella 1b. Reazioni posturali in soggetti con disturbo di movimento

Autore	Soggetti	Obbiettivo dello studio	Disturbo del controllo posturale	Metodo di misurazione	Risultato / conclusione
Brauer et al, 2001 ⁴⁶	Soggetti anziani (sesso non specificato) (15 sane e 13 con diminuzione dell'equilibrio secondo la scala d'equilibrio di Bergh)	Studiare come l'attenzione e la capacità cognitiva influiscano sulla capacità di recuperare l'equilibrio dopo una alterazione dello stesso.	Spostamento della base d'appoggio del soggetto.	Cinetica: Velocità massima del COP (m/s). La velocità è anche presentata nel dominio del tempo. EMG: Tempo di reazione dopo un disturbo dell'equilibrio (ms).	Dopo una alterazione dell'equilibrio la capacità di recupero fu più efficace mediante un lavoro sull'attenzione rispetto all'eseguimento contemporaneo di un esercizio cognitivo. Il recupero in quest'ultimo caso fu più lento e meno efficace.
Horak & Diener, 1994 ⁴⁰	10 persone con lesione del lobo frontale e atssia del cammino e 10 persone sane. (sesso non specificato)	Valutare gli effetti dopo una lesione al cervello sull'adattamento/aggiustamento delle reazioni posturali, basato sul feedback sensorio e predire la posizione di partenza più adatta.	Spostamenti della piattaforma con il controllo della velocità e dell'ampiezza sono.	Cinetica: momento della caviglia (Nm). Differenza di momento (Nm/s) EMG: tempi di latenza (ms), sequenza d'attivazione, durata della risposta muscolare in (ms). IEMG espresso in percentuale del valore normalizzato durante periodi di tempi definiti.	Le risposte posturali agli spostamenti in avanti furono esagerati nelle persone con lesione al cervello. La forza di reazione della base fu 2-3 volte più grande e con un'attivazione più lunga della muscolatura posturale.
Horak et al, 1996 ⁴⁸	13 pazienti (6 donne e 7 uomini) con parkinson e 15 anziani sani (7 donne e 8 uomini).	Studiare l'effetto della malattia di parkinson sulle reazioni posturali dove il feedback sensorio e le condizioni di base cambiano.	Spostamento specifico della base d'appoggio del soggetto (velocità, ampiezza)	Cinetica: spostamento del COP (cm) : Tempo dal movimento focale (ms).. Velocità del COM (mm/s). Momento (Nm) EMG: tempo di latenza (ms). IEMG: (μV) durante periodi di tempo definiti.	I soggetti con parkinson non riuscivano a generare risposte d'EMG così veloci come i soggetti sani. Anche le forze relative e generate nella base d'appoggio in cui stavano on venivano generate velocemente.
Potten et al, 1999 ⁴⁴	20 soggetti con lesione al midollo osseo e 10 soggetti sani come gruppo do controllo (sesso non specificato).	Valutare le differenze nel controllo posturale (strategie) tra soggetti sani e soggetti con lesione al midollo osseo per poter discernere la motoricità e il controllo posturale nella muscolatura del braccio e della spalla.	Compito bimanuale seduto con il braccio allungato in avanti durante vari distanze.	Cinetica: Spostamenti da COP (cm) espresso nel dominio del tempo. EMG: Ampiezza (μV).	Le persone con lesione al midollo osseo possono utilizzare la "muscolatura non posturale" come il gran dorsale e trapezio per regolare il controllo posturale da seduto.
Seelen et al, 1998 ⁶²	12 soggetti con lesione del midollo osseo (sesso non specificato).	Studiare lo sviluppo di pattern nuovi nel controllo posturale dopo riabilitazione attiva.	Posizione seduta. Stendere entrambe le braccia verso qualcosa a distanze diverse.	Cinetica: Spostamento del COP (cm) EMG: Ampiezza (μV). in relazione dallo spostamento del COP.	La distanza d'allungamento delle braccia che le persone con lesione al midollo osseo basso possono controllare attivamente del COP aumentava con la riabilitazione.
Timmann & Horak, 1998 ⁴⁷	8 soggetti con lesione al cervelletto (4 donne e 4 uomini) e atassia e 8 soggetti sane (4 donne e 4 uomini).	Valutare il ruolo del cervelletto durante un pattern posturale organizzato e durante l'influenza periferica dell'equilibrio.	Spostamento definito della base d'appoggio (ampiezza, velocità)	EMG: tibiale anteriore e gastocnemio bilaterale. IEMG durante un periodo di tempo definito (%μV). Tempo di latenza (ms) Cinetica: Differenza di momento (%). Spostamento del COP (cm).	Il cervelletto non sempre ha un ruolo centrale per quanto riguarda l'organizzazione del pattern posturale.

T

Tabella 2. Sinergie posturali in persone sane e persone con disturbo del movimento.

Autore	Soggetti	Obiettivo dello studio	Disturbo del controllo posturale	Metodo di misurazione	Risultato / conclusione
Blackburn et al, 2003 ⁶⁶	14 soggetti sani (7 uomini, 7 donne)	Differenziare movimento dell'anca e del tronco durante la posizione bipodolica sul piano sagittale e frontale su superfici stabili, di gomma piuma, con appoggio su superficie multiassiale.	Flessione/estensione e flessione laterale del tronco, flessione/estensione e abduzione/adduzione anca destra e sinistra. Occhi chiusi, occhi aperti.	Cinematica: variabili tridimensionali: EMG, spostamento angolare dell'anca misurato in gradi tra coscia e bacino, del tronco tra colonna vertebrale e bacino su diversi superfici d'appoggio.	Meccanismi posturali implicano una quantità simile di movimento alle anche e al tronco eccetto in condizioni in cui una base di supporto rigida diventa instabile e quando viene eliminata la visione.
Elis & Rosenbaum, 2001 ²⁴	30 soggetti (18 donne e 12 uomini) con instabilità cronica alla caviglia, dei quali 20 sottoposti ad allenamento e 10 costituivano il gruppo di controllo.	Valutare gli effetti sul controllo posturale dopo 6 settimane d'allenamento in stazioni multiple con esercizi d'allenamento che mirati al miglioramento della proprioccezione.	Rumore posturale alla posizione monopodolica e spostamento rotatorio della base d'appoggio.	EMG: tempo di reazione muscolare (onset) dopo disturbo dell'equilibrio (ms). IEMG per un periodo di tempo specifico (µVs) Cinetica: deviazione standard (m-l, a-p), rumore massimo posturale (m-l, a-p) e distanza del rumore posturale totale (mm).	Il gruppo d'allenamento migliorava significativamente per quanto riguarda il rumore posturale e la differenza nel tempo di reazione muscolare
Gosselin G et al, 2004 ⁶⁷	10 soggetti maschi sani.	Valutare l'effetto d'intensità variabile e durata nella contrazione isometrica degli estensori cervicali su shift spettrale elettromiografica e sull'equilibrio. L'ipotesi era che l'equilibrio cambiasse significativamente quando la frequenza mediana cambiava a frequenze più basse.	L'equilibrio fu misurato prima e dopo contrazioni isometriche in estensione del rachide cervicale da seduto a 5% e 25% della contrazione massimale isometrica per un periodo di 5min, 10 min e 15 min. Controllo: nessuna contrazione per lo stesso periodo di tempo.	EMG: erettori spinali cervicali Cinetica: spostamento del COP	A 25% della contrazione massimale isometrica degli estensori del rachide cervicale per la durata di 10 e 15 min alcuni parametri posturali cambiavano e producevano una diminuzione dello spettro di frequenza mediana in frequenze più basse.
Grimstone S & Hodges P, 2003 ⁶⁸	10 soggetti con low back pain e 10 soggetti sani. (sesso non specificato)	1) Determinare se esistano movimenti del COP con la respirazione in soggetti con low back pain, 2) valutare l'ipotesi che un movimento incrementato sia dovuto ad una disabilità nel meccanismo compensatorio che consiste nello spostamento del tronco e degli AAIL, 3) confrontare i cambiamenti durante una richiesta di respirazione aumentata.	Respirazione quieta normale 2min, respirazione in un tubo per incrementare il del dead space 2 min e incremento volontario della respirazione del soggetto per uguagliare l'espansione della gabbia toracica hypercapnoea 2min.	Cinematica: spostamento angolare tra tronco, pelvi e AAIL misurati in gradi nel piano sagittale. Respirazione misurata con inductance plethysmograph collegato con the force plate. Cinetica: spostamento del COP (COP=My/Fz)	Nella respirazione in piedi i soggetti con low back pain dimostrarono uno spostamento più grande del COP in direzione antero-posteriore che fu associato alla respirazione rispetto ai soggetti di controllo. Vale a dire che non compensavano efficacemente l'oscillazione, il rumore posturale in relazione alla respirazione.

Koceja et al, 1995 ⁴¹	25 soggetti sani divisi in un gruppo giovane e uno anziano (sesso non specificato).	Studiare come il riflesso H si modula nei giovani e negli anziani in posizione podalica e supina.	Rumore posturale in piedi con gli occhi aperti o chiusi.	Cinetica: L'area di spostamento della COP (cm ²) EMG: riflesso –H nel soleo (Hmax/Mmax) espressi in percentuale.	Differenze rilevate rispetto a come giovani ed anziani modulano il riflesso H nel soleo in posizione eretta . I ricercatori discutono sull'importanza del riflesso di stiramento per il controllo del rumore posturale.
Riemann et al, 2003 ⁶⁹ .	14 soggetti sani (9 uomini e 5 donne) senza anamnesi di distorsione. 9 maschi 5 femmine.	Determinare in isolamento il contributo dei meccano recettori laterali della caviglia, durante la posizione monopodalica sulla stabilità posturale, con occhi chiusi e con occhi aperti e durante compiti di atterramento.	In posizione monopodalica su una piattaforma di forze (force platform) durante due trattamenti: 1) senza anestesia (controllo) 2) con anestesia (lidocaina fu iniettato nel legamento talofibulare e calcaneofibulare)	Cinematica: angolazioni di ginocchio, anca e tronco tramite electromagnetic kinematic tracking system. Cinetica: COM e COP.	Lo studio ha dato esito negativo rispetto alla dimostrazione che i meccano recettori laterali della caviglia contribuiscano al controllo posturale in posizione monopodalica durante compiti statici e dinamici. Questo risultato secondo gli autori contraddice il prospettiva classico ortopedico che dopo una lesione il controllo posturale si interrompe a livello dei meccano recettori.

Tabella 3a. Preparazioni posturali in soggetti sani

Autore	Soggetti	Obbiettivo dello studio	Disturbo del controllo posturale	Metodo di misurazione	Risultato / conclusione
Anson & Kasai, 1995 ⁵¹	7 soggetti sani (sesso non specificato)	Studiare il controllo posturale che precede e segue i movimenti balistici della testa.	Movimenti balistici della testa (rotazioni) a destra e sinistra.	EMG: Tempo dal movimento focale (ms). Ampiezza (μV) nel dominio del tempo. Riflesso H espresso in relazione ad un valore di controllo (%).	Nei movimenti balistici il SNC funziona anticipatoriamente per stimolare il bicipite femorale e inibire il soleo. La coordinazione dei movimenti richiede quindi degli aggiustamenti anticipatori.
Brown, Haumann & Potvin, 2003 ⁷⁰	11 uomini sani	Valutare sia azioni anticipatorie che razioni posturali nei muscoli della gamba e del tronco e il loro ruolo nel corpo intero. Valutare il controllo spinale nelle situazioni seguenti a scaricamento improvviso della scatola che il soggetto teneva in mano nel piano sagittale.	Tre condizioni di scaricamento della scatola (6,8kg): 1) far cadere la scatola volontariamente, 2) timing di caduta della scatola conosciuto dal soggetto, 3) timing di caduta della scatola sconosciuto dal soggetto. 10 prove per ogni condizione.	EMG in % dal MVC: erettori spinali lombari, erettori spinali toracici, obliquo esterno, retto addominale, bicipite femorale, retto del femore soleo e tibiale anteriore. Tempo precedente al movimento focale (ms). Cinetica: spostamento del COP nella direzione anteriore-posteriore(cm) espresso nel dominio del tempo ($COP_y = M_x / F_z$)	Lo spostamento del COP aumentava quando i soggetti avevano meno conoscenza del timing di scaricamento della scatola. L'erettore spinale lombare e l'erettore spinale toracico diminuirono significativamente l'attività anticipatoria quando la conoscenza del timing di scaricamento aumentava. 5 degli 8 muscoli esaminati dimostrarono livelli di riposta diminuita mentre la conoscenza del timing di scaricamento della scatola aumentava.
Gantchev & Dimitrova 1996 ⁵²	6 persone sane (sesso non specificato)	Valutare preparazioni posturali nei movimenti delle braccia durante il mantenimento dell'equilibrio su una superficie d'appoggio instabile per studiare la coordinazione tra movimento e postura.	Sollevamento delle braccia durante spostamenti della superficie d'appoggio.	EMG: Tempo prima del movimento focale- onset (ms). IEMG (mVs) e durata dello stesso.	Il controllo posturale durante queste circostanze dimostra che l'adattamento motorio avviene dopo le esigenze posturali che esistono.
Hodges et al, 2003 ⁷¹	7 soggetti sani (5 uomini e 2 donne)	Valutare se il reclutamento del feedforward dei muscoli del tronco in un compito posturale possa essere cambiato da un low back pain acuto indotto sperimentalmente da iniezioni di una sostanza salina ipertonica	Movimento "single" del braccio sinistro, 15 ripetizioni fino a 60° di flessione velocemente e movimento del braccio sinistro ripetutamente nel piano sagittale tra 15° estensione e 15° flessione in corrispondenza a una luce in 4 situazioni: prova controllo (senza dolore), iniezione di salino isotonico (non dolore), iniezione di salino ipertonico (dolore) nel muscolo	IEMG: trasverso dell'addome, obliquo esterno e obliquo interno dell'addome. Ampiezza (mV) nel dominio del tempo (ms). EMG: deltoide anteriore e posteriore destro. Nel dominio del tempo (ms) Cinematica: Spostamento del braccio misurato in gradi con uno potenziometro Scala analogica elettronica. McGill Pain	Il dolore acuto indotto sperimentalmente dimostra un cambiamento nel reclutamento feed forward nei muscoli del tronco. Specialmente ci fu un ritardo d'attivazione del trasverso addominale.

			lunghissimo a livello L4 e un ora dopo - follow up.	Questionnaire	
Martin et al, 2000 ⁴²	7 soggetti sani (uomini).	Studiare l'interazione tra postura e movimenti finalizzati ad un traguardo/scopo.	Additamento veloce con la mano verso uno obiettivo non predetto 1) a portata di mano 2) a non portata di mano. Fu disposto in modo da indurre una riprogrammazione cosciente del movimento.	EMG: IEMG espresso nel dominio del tempo. Cinematica: Tempo per iniziare il movimento(s), velocità massima mm/s, accelerazione massima. La traiettoria del movimento in coordinati (mm). Angolo dell'anca in gradi espresso nel dominio. Velocità espressa nel dominio.	Le componenti posturali durante i movimenti d'additamento non sono unicamente dovuti a condizioni che precedono movimenti delle braccia per evitare un disturbo dell'equilibrio ma sono aggiornati durante l'esecuzione del movimento.
Van Der Fits et al, 1998 ⁵³	14 soggetti sani (7 donne e 7 uomini)	Studiare quanto diversi muscoli (posturali e non – posturali) partecipano durante un sollevamento delle braccia in varie posizioni.	Sollevamento delle braccia in varie posizioni di partenza dopo un segnale acustico.	EMG: su diversi muscoli posturali. Ampiezza (μV) nel dominio del tempo. Sequenza d'attivazione per ogni posizione di partenza. Cinematica: Angolazioni (angoli) dei segmenti ($^{\circ}$) nel dominio del tempo. Sequenza d'attivazione espressa nel dominio del tempo e con data cinematica.	I meccanismi anticipatori giocano un ruolo importante nella modulazione degli aggiustamenti posturali.

Tabella 3b. Preparazioni posturali in soggetti con disturbo di movimento

Autore	Soggetti	Obbiettivo dello studio	Disturbo del controllo posturale	Metodo di misurazione	Risultato / conclusione
Cowan et al, 2002 ⁵⁴	37 soggetti (23 donne e 14 uomini) con sindrome dolorosa patello-femorale (sdpf) e 37 soggetti sani.	Studiare eventuali differenze nella sequenza d'attivazione muscolare tra persone con sdpf e sane.	Stando sulle punte o sui talloni il più velocemente possibile dopo un segnale visivo per valutare la stabilità del ginocchio.	EMG: vasto laterale, gastrocnemio e tibiale anteriore. Tempo per l'attività del muscolo (onset) in ms. Ampiezza (mV) espressa nel dominio del tempo.	Esistono differenze per quanto riguarda la coordinazione del vasto laterale tra soggetti sani e soggetti con sdpf.
Frank et al, 2000 ⁵⁵	10 soggetti (6 donne e 4 uomini) con parkinson (grado III-V) secondo la scala di Hoehn e Yahr e 13 soggetti sane (7 donne e 6 uomini)	Studiare il parkinson e l'effetto del levodopa sui movimenti anticipatori posturali.	Alzarsi sulla punta dei piedi lentamente e velocemente.	EMG: Da tibiale anteriore e gastrocnemio. Ampiezza nel dominio del tempo IEMG (mV) Cinetica: Momento di forza intorno alla caviglia(Nm) nel dominio del tempo. Momenti in vari intervalli di tempo (Nmms). Spostamento del COM e COP in direzione antero-posteriore (cm) Cinemática: l'angolazione dell'anca espressa in gradi.	I soggetti con parkinson avevano un rischio aumentato di cadere con e senza levodopa. (meno margine di sicurezza tra COM e COP).

RISULTATI

Contesti clinici

Alcuni studi di questa revisione hanno valutato più aspetti del controllo posturale, ma sono stati divisi a seconda della rappresentazione del contenuto. La gran parte degli studi riguardava il controllo posturale in stazione eretta, dunque non durante il cammino o altri spostamenti. L'ambito più studiato erano frequentemente le reazioni posturali in soggetti sani (tabella 1a). Le reazioni posturali sono anche state studiate in persone con disturbi del movimento causati da una lesione al midollo^{44, 45}, dalla vecchiaia⁴⁶, lesioni cerebrali^{40, 47}, malattia di Parkinson⁴⁸ (vedere tabella 1b). Sei degli studi inclusi^{29, 40, 66-69} hanno valutato le sinergie posturali; lo studio di Elis E et al²⁴ riguarda persone con instabilità legamentosa cronica (tabella 2). Studi sul controllo posturale predittivo (anticipazioni posturali) non sono stati effettuati in gran numero come gli studi sulle reazioni posturali (Tabella 3a-b). Le anticipazioni posturali (*studi predittivi*) sono stati studiati in persone con sindrome dolorosa patellofemorale e in persone con la malattia di Parkinson (tabella 3b), dove sono state esposte le differenze tra i soggetti con problemi, rispetto a soggetti sani.

Schiere di test per destabilizzare il controllo posturale

La tipologia di alterazioni del controllo posturale utilizzata per destabilizzarne il controllo, eccetto l'oscillazione/rumore posturale che viene modulata con diversi rapporti sensoriali sono spostamenti dell'area di superficie su cui appoggia la persona. La maggior parte degli studi indica con precisione come veniva attuata la destabilizzazione, dando un'indicazione sullo spostamento, l'accelerazione, la direzione, nonché il tipo di spostamento dell'area di appoggio (traslatorio o rotatorio)^{43, 49, 50}. Uno degli studi³⁹ ha valutato il controllo posturale durante il cammino su tapis roulant che era regolato a 3.0 mph (ca 1.3 m/s) con una pendenza di 0°. Negli studi che hanno valutato maggiormente le anticipazioni posturali (*predittivi*) le destabilizzazioni sono state provocate tramite movimenti balistici del capo⁵¹, movimenti del braccio (elevazione)^{42, 52, 53} e la richiesta di mettersi sulle punte dei piedi e sui talloni^{54, 55}.

Valutazione del controllo posturale secondo i metodi di misurazione e analisi

L'analisi degli studi inclusi dimostra che i vari ricercatori spesso scelgono metodi diversi per misurare e registrare il controllo posturale, a seconda del quesito che si pongono. Alcune modalità di analisi sono state utilizzate per tutti i metodi di misurazione. Utilizzando dei dati elettromiografici, il controllo posturale viene definito "buono" se, in seguito ad una destabilizzazione, si verifica una risposta più bassa in termini d'ampiezza (amplitud) ed una risposta muscolare più veloce, vale a dire un tempo di latenza più breve,^{23, 38, 40, 43, 46, 48, 50, 56} oppure una minore attività muscolare espressa come un EMG integrato (IEMG cioè l'area sotto la curva del tempo – ampiezza) misurato durante epoche (periodi) di tempo definite^{23, 24, 42, 47, 48, 52, 55, 55}. Spesso, per quanto riguarda le anticipazioni posturali, venivano misurati in tempo (ms) al movimento focale, dove un tempo lungo di anticipazione (onset) veniva valutato come favorevole^{51, 52, 54}. Il pattern di attivazione oppure la sequenza di attivazione muscolare in persone con disturbi di movimento sono stati paragonati con persone sane e il pattern anormale in questo caso veniva supposto presente nelle persone con qualche forma di disturbo del movimento^{23, 40, 53}. Il riflesso di Hoffman (riflesso H) è stato valutato in tre studi^{40, 50, 57} dove la relazione tra Hmax/Mmax è espresso in relazione ad un referente. L'unità di misura usata frequentemente negli studi su base elettromiografica sono i Microvolt (μV) e i secondi di microvolt (μVs). Una minore fluttuazione del COP e del COM, come risposta ad una data alterazione del controllo posturale veniva considerata come una migliore capacità di controllo posturale. Per quanto riguarda le anticipazioni posturali^{38, 43, 44, 46-49, 57, 59, 60, 61, 62}, COP e COM sono stati analizzati in funzione della distanza di trasferimento, della velocità media, della velocità massima, dell'area di trasferimento, della distanza tra due misure di estremità dove un minore tratto indica un miglior controllo posturale^{58, 59, 60, 61, 62}, sinergie posturali^{24, 41} e anticipazioni posturali⁵⁵. Per i metodi cinetici sono spesso usati come unità di misura centimetri (cm), secondi (s), la forza di reazione di base (N) e il momento alla caviglia (Nm)^{40, 43, 48, 49, 55, 56, 61, 63} dove una minore risposta significa che il soggetto ha un controllo posturale relativamente migliore. Dalla valutazione cinematica una minore risposta dopo un dato disturbo dell'equilibrio viene valutato come un controllo posturale

buono. La risposta di movimento viene definita negli studi come la misura dell'angolo dell'articolazione^{23, 42, 49, 55, 57, 58}, degli angoli dei segmenti corporei^{53, 61, 64, 66, 68, 69}, dell'oscillazione corporea^{48, 55, 58, 61, 63, 64}, del diagramma di angolo^{58, 64} e dello spostamento di un segmento o di una parte del corpo^{42, 43, 58}. Gradi (°) e secondi (s) sono usati come unità di misura. Spesso i parametri sono espressi in tempo reale, cioè i parametri posturali vengono decritti nel dominio di tempo anticipatorio, durante e dopo un'alterazione dell'equilibrio^{42, 44, 46, 51, 54-56, 63, 64}.

DISCUSSIONE

Il risultato di questa revisione della letteratura dimostra che la maggioranza degli studi inerenti il controllo posturale ha analizzato le reazioni posturali in soggetti sani. Le reazioni posturali sono spesso state evocate tramite lo spostamento della superficie di appoggio su cui è posto il soggetto, ma esistono altre modalità. I disturbi di movimento che i soggetti inclusi e valutati negli studi hanno avuto sono stati causati da problemi di tipo neurologico, ortopedico, oppure dall'anzianità. E' stata utilizzata un'ampia gamma di metodi di analisi. Esiste però una correlazione tra le valutazioni dei risultati e i metodi di analisi usati. Una minore risposta di misura per quanto riguarda i metodi d'analisi come l'elettromiografia, la cinetica oppure la cinematica indica spesso un controllo posturale relativamente buono. Questa valutazione dipende dal quesito che viene riferito nello studio, per cui bisogna valutare gli studi nell'ambito del controllo posturale a seconda del tipo di quesito che si pongono. Nelle attività posturali che vengono indicate nel dominio di tempo anticipatorio, e dopo un'alterazione dell'equilibrio, il livello di attivazione della muscolatura e la distanza di spostamento costituiscono dati importanti nella valutazione del controllo posturale. Raramente vengono usati solo un metodo d'analisi per poter studiare il controllo posturale.

Discussione in relazione ai test clinici

Degli studi riportati, un gran numero fa parte della ricerca di base e sono relativamente pochi gli studi applicabili. L'obiettivo della maggior parte degli studi non è di decidere quale potrebbe essere un controllo posturale buono o

ridotto, né in che modo il controllo posturale si comporti in relazione ad incidenti dovuti ad una diminuzione dell'equilibrio, ma lo studio dell'effetto destabilizzante. Spesso l'obiettivo degli studi è quello di descrivere un controllo posturale normale in relazione ad un controllo posturale divergente, oppure descrivere unicamente come i parametri posturali si comportino durante le diverse situazioni che necessitano di equilibrio. Un controllo posturale divergente si presume esista in soggetti con lesioni o malattie. In clinica, l'obiettivo principale dell'allenamento dell'equilibrio è che il paziente diventi più sicuro nei trasferimenti posturali e negli spostamenti in modo da evitare incidenti da cadute. È sorprendente che così pochi studi abbiano una direzione di questo tipo nell'ambito della ricerca. Soltanto sei studi sul controllo posturale sono riferiti a qualche altro parametro di movimento^{23, 24, 43, 56, 57, 62} e uno studio ha valutato i parametri posturali durante un test d'equilibrio usuale: functional reach.

Critica agli studi sul controllo posturale

Siccome gli studi riportati hanno focalizzato l'attenzione su vari obiettivi, tra differenti gruppi ed hanno usato diversi tipi di test per il controllo posturale, ci sono una grande variazione tra i metodi di analisi e di misura usati. Spesso vengono usati contemporaneamente molti differenti test e analisi. In questo modo risulta difficile vedere un pattern omogeneo. Sarebbe vantaggioso l'utilizzo di linee guida comuni per testare il controllo posturale oltre ai metodi d'analisi standardizzati in modo da utilizzare un linguaggio ed una modalità di valutazione omogenea. In questo modo, l'ambito della ricerca acquisterebbe nel tempo una forza empirica. Si può mettere in discussione se i test e i metodi d'analisi che vengono usati per studiare il controllo posturale rispecchiano realmente le situazioni cliniche, anche se sono precisate. Un altro punto di discussione è il modo in cui i test sul controllo posturale si comportano in relazione ai test sull'equilibrio che vengano normalmente usati nella clinica. L'eccezione è il controllo posturale durante il cammino, che può causare altre difficoltà di analisi. Per entrare nei particolari tra la clinica e la ricerca è necessario partire da quesiti provenienti dall'ambito clinico.

Risultati degli studi che hanno un'applicazione nell'attività clinica.

Nonostante la maggior parte degli studi in questa revisione della letteratura abbiano un carattere di ricerca di base, ci sono alcuni studi che possono essere applicati all'ambito clinico. Gli studi sul controllo posturale in soggetti sani dimostrano che:

1. la presenza e l'effettuazione di passi compensatori potrebbero essere un fattore predittore per il rischio di cadute⁴³,
2. il controllo posturale avviene in modo simile per quanto riguarda i disturbi dell'equilibrio nei piani frontale e sagittale, ma con differenti condizioni biomeccaniche dovute all'anatomia⁵⁹,
3. l'EMG potrebbe essere uno strumento non invasivo per studiare gli effetti dal "Diazepam" sull'equilibrio e il rischio di cadute negli anziani³⁷,
4. un suono preparatorio, non necessariamente specifico, diminuisce il tempo di latenza per l'attivazione della muscolatura posturale⁵⁰,
5. l'allenamento multisensoriale migliora l'efficacia delle caratteristiche del muscolo e del movimento fondamentale nel controllo posturale²³.

Gli studi sul controllo posturale in soggetti con disturbi di movimento dimostrano:

1. che i soggetti con lesioni al midollo, in posizione seduta controllano meglio il COP dopo una riabilitazione attiva⁶² e
2. che la muscolatura non posturale può essere usata per regolare il controllo posturale nella posizione seduta in questo gruppo di pazienti⁴⁴,
3. che l'attenzione è importante per il controllo posturale negli anziani⁴⁶,
4. che gli esercizi propriocettivi diminuiscono il disturbo posturale in persone con instabilità legamentosa cronica²⁴.

I limiti della revisione

Questa revisione della letteratura rende conto unicamente di studi negli ultimi due decenni e si focalizza sui lavori sul controllo posturale in posizione eretta. Due degli studi hanno esaminato il controllo posturale in posizione seduta^{44, 62} e uno durante il cammino. Inoltre è stato usato soltanto un database per la ricerca della letteratura. La scelta delle parole chiave ha limitato la quantità degli studi e

di conseguenza ha influito sull'interpretazione del risultato. Ci sono dunque, più studi che possono contribuire ad una maggior comprensione nell'ambito della ricerca.

Questa revisione della letteratura risponde a differenti quesiti problematici nell'ambito dell'equilibrio e in questo senso dovrebbe essere considerata una visione generale. Revisioni della letteratura che riguardano gruppi con diagnosi specifiche potrebbero essere di grande valore, poiché i risultati potrebbero essere implementati in situazioni d'allenamento e valutati nel lavoro clinico. Allo stesso modo, si potrebbero utilizzare anche gli studi sul controllo posturale in posizione seduta e durante il movimento in modo da avere una visione di insieme sul controllo posturale per ogni specifico gruppo.

CONCLUSIONE

La maggior parte dei metodi di misurazione e di analisi del controllo posturale sono altamente tecnologici e probabilmente non faranno parte della routine quotidiana in ambito clinico; è difficile tramite questa revisione vedere in che modo la ricerca sul controllo posturale possa contribuire allo sviluppo d'interventi fisioterapici.

I test sul controllo posturale nei laboratori sono differenti dai test usati in ambito clinico fisioterapico. Sono necessari quindi più studi applicabili alla clinica sul controllo posturale.

BIBLIOGRAFIA

- ¹ Ghez C. Posture. In : Kandel E SJ, Jessel T, editor. Principles of Neural Science. Elsevier Science Publishing Co; 1991. p 596-607.
- ² Bouisset S, Zattara M. Biomechanical study of the programming of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. *J Biomech* 1987; 20: 735-742.
- ³ Latash ML. Neurophysiological basis of movement. Champaign, IL USA: Human Kinetics; 1998. p.163-171
- ⁴ Massion J. Postural control system. *Current Opinion in neurobiology* 1994; 4 877-887.
- ⁵ Massion J, Woollacott MH. Posture and equilibrium. In bronstein AM, Brandt T and Woollacott MH, editor *Clinical Disorders of Balance, Posture and Gait* 1996. p 1-18.
- ⁶ Gahery Y. Associated movements, postural adjustments and synergies: some comments about the history and significance of three motor concepts. *Arch Ital Biol* 1987; 125: 345- 360.
- ⁷ Maki BE, Holliday PJ, Fernie GR. A posture control model and balance test for the prediction of relative postural stability. *Trans Biomed Eng* 1987; 34: 797-810.
- ⁸ Maki BE. Biomechanical approach to quantifying anticipatory postural adjustments in the elderly. *Medical and Biological Engineering and Computing* 1993; 31: 355-362.
- ⁹ Hirschfeld H. Motor learning and physical therapy. In Gross-Selbeck G, editor. *Aktuelle Neuropädiatrie*. Wher: Ciba-Geigy Verlag 1996.
- ¹⁰ Horak F, Macpherson J. Postural orientation and equilibrium. In Shepard J and Rowell L, editor. *Handbook of Physiology*. New York: Oxford University; 1996. p 255-292.
- ¹² Shumway-Cook A, Wollacott M. Motor control: theory and practical applications. Lippincott Williams & Wilkins; 2001. p. 163-304.
- ¹³ Ragnarsdóttir M. The concept of balance. *Physiotherapy* 1996; 82: 368-375.
- ¹⁴ Nashner LM, Wollacott M, Tuma G. Organisation of rapid responses to postural and locomotorlike perturbations of standing man. *Exp Brain Res* 1979; 36: 463-476.
- ¹⁵ Nashner LM; Codo PJ. Relation of automatic postural responses and reaction-time voluntary movements of human leg muscles . *Exp Brain Res* 1981; 43: 395-405.
- ¹⁶ Pollock A, Durward P, Paul J. What is balance? *Clinical Rehabilitation* 2000; 14:402-406.
- ¹⁷ Carlsöö S. Människans rörelser. *Skrifter från PA-rådet*. Stockholm: Tryckeribolaget Ivar Haeggström AB. P. 24-41.
- ¹⁸ Basmajian J, De Luca C. Muscles alive: their functions revealed by electromyography. Lippincott, Williams & Wilkins; ASIN; 1985. p. 65-99.
- ¹⁹ Abernethy B, Kippers V, Mackinnon L, Neal R, Hanrahan S. The biophysical foundations of human movement. Champaign, IL, USA: Human kinetics; 1997. p. 105-178.
- ²⁰ Lee WA.. A control system s framework for understanding normal and abnormal posture. *Am J Occup Ther* 1989; 43: 291-301.
- ²¹ Nashner LM: Evaluation of postural stability, movement and control. Exercise tolerance and training for patients with neurologic dysfunction and balance disorders. In Hansson SM, editor. *Clinical Exercise Physiology*. C.V Mosby; 1994. p. 199-234.
- ²² Burtner P, Wollacott M. Theories of , motor control. In: Federicks C and Saladin L, editor. *Pathophysiology of the motor systems. Principles and clinical presentations*. Philadelphia: FA Davis Company; 1996. p217-237.
- ²³ Hu MH. Multisensory training of standing balance in older adults. Kinematic and electromyographic postural responses. *Journal of Gerontology* 1994; 49: M62-M71.
- ²⁴ Elis E. A multi-station proprioceptive exercise program in patients with ankle instability. *Medicine & Science in Sports and Exercise* 1992; 33: 1991-1998.
- ²⁵ Lee Y, Jiang M. An ergonomic design and performance evaluation of pipettes. *Appl Ergonomics* 1999; 30: 487-93.
- ²⁶ Mclean L, Tingley M, Scott R, Richards J. Computer terminal work and the benefit of mikrobreks. *Appl Ergonomics* 2001; 32: 225-37.
- ²⁷ Lehman KR, Phishogios JP, Meulenbroek RG. Effects of sitting versus standing and scanner type on cashiers. *Ergonomics* 2001; 44: 719-38.
- ²⁸ Eloranta V. Patterning of muscle activity in static knee extension. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1989; 29: 369- 75.
- ²⁹ Basler HD, Keller, S, Herda C. good postural habits: a pilot investigation using EMG scanning of the paraspinals. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 1997; 22: 171-82.
- ³⁰ Wirth DP, Cram JR. Multi-site electromyographic analysis of non-contact therapeutic touch. *Int J Psychosom* 1993; 40: 47-55.
- ³¹ Blangsted AK, Sogaard K, Christensen H, Sjogaard G. The effect of physical and psychosocial loads on the trapezius muscle activity during computer keying tasks and rest periods. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91: 253-258.
- ³² Sainburg RL, Ghez C, Kalakanis D. Intersegmental dynamics are controlled by sequential anticipatory, error correction, and postural mechanisms. *J Neurophysiol* 1999; 81: 1045-56.
- ³³ Swinnen SP, Serrien DJ, Walter CB, Philippaerts R. The organization of patterns of multilimb coordination as revealed through reaction time measures. *Exp Brain Res* 1995; 104: 153-62.

- ³⁴ Alusi S, Aziz T, Glickman S, et al. Stereotactic lesional surgery for the treatment of tremor in multiple sclerosis. A prospective case-controlled study. *Brain* 2001; 124: 1576-1589.
- ³⁵ Flanders M, Pellegrini JJ, Geisler SD. Basic features of phasic activation for reaching in vertical planes. *Exp Brain Res* 1996; 110: 67-79.
- ³⁶ Stinear J, Byblow W. Phase transitions and postural deviations during bimanual kinesthetic tracking. *Exp Brain Res* 2001; 137: 467-477.
- ³⁷ Commissaris DA, Nieuwenhuijzen PH, Overeem S et al. Dynamic posturagraphy using a new movable multidirectional platform driven by gravity. *J Neurosci Methods* 2002; 113: 73-84.
- ³⁸ Cutson TM, Gray SL, Hughes MA, Carson SW, Hanlon JT. Effect of a single dose of diazepam on balance measures in older people. *J Am Geriatr Soc* 1997; 45: 435-40.
- ³⁹ Davis JE, Horwood KE, DeJong GK. Effects of exercise during head-down bed rest on postural control. *Aviat Space Environ Med* 1997; 68: 392-5.
- ⁴⁰ Horak FB, Diener HC. Cerebellar control of postural scaling and central set in stance. *J Neurophysiol* 1994; 72: 479-93.
- ⁴¹ Koceja DM, Markus CA, Trimble MH. Postural modulation of the soleus H reflex in young and old subjects. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995; 97: 387-93.
- ⁴² Martin O, Teasdale N, Simooneau M, Corbeil P, Bourdin C. Pointing to a target from an upright position in human: tuning of postural responses when there is target uncertainty. *Neurosci Lett* 200; 281:53-6.
- ⁴³ McIlroy WE, Maki BE. Age-related changes in compensatory stepping in response to unpredictable perturbations. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1996; 51: M289-96.
- ⁴⁴ Potten YJM, Seelen HAM, Drukker J, Reulens JPH, Drost MR. Postural muscle responses in the spinal cord injured persons during forward reaching. *Ergonomics* 1999; 42: 1200-1215.
- ⁴⁵ Seelen HAM, Vuurman EFPM. Compensatory muscle activity for sitting posture during upper extremity task performance in paraplegic persons. *Scand J Rehab Med* 1991; 23: 89-96.
- ⁴⁶ Brauner S, Wollacott M, Shumway-Cook A. The interacting effects of cognitive demand and recovery of postural stability in balance-impaired elderly persons. *Journal of Gerontology* 2001; 56A: M489-M496.
- ⁴⁷ Timmann D, Horak F. Perturbed step initiation in cerebellar subjects *Exp Brain Res* 1998; 119: 73-84.
- ⁴⁸ Horak FB, Frank J, Nutt J. Effects of dopamine on postural control in parkinsonian subjects: scaling, set and tone. *J Neurophysiol* 1996; 75: 2380-96.
- ⁴⁹ Gurfinkel VS, Ivanenko Yu P, Levik Yu S, Babakova IA. Kinesthetic reference for human orthograde posture. *Neuroscience* 1995; 68: 229-43.
- ⁵⁰ McChesney JW, Sveistrup H, Woollacott MH. Influence of auditory precuing on automatic postural responses. *Exp Brain Res* 1996; 108: 315-20.
- ⁵¹ Anson JG, Kasai T. Evidence for soleus H-reflex depression induced by ballistic head rotation. *Neurosci Lett* 195; 195: 17-20.
- ⁵² Gantschev GN, Dimotrova DM. Anticipatory postural adjustments associated with arm movements during balancing on unstable support surface. *Int J Psychophysiol* 1996; 22: 117-22.
- ⁵³ van der Fits IB, Klip AW, van Eykern LA, Hadders-Algra M. Postural adjustments accompanying fast pointing movements in standing, sitting and lying adults. *Exp Brain Res* 1998; 120: 202-16.
- ⁵⁴ Cowan SM, Hodges PW, Bennell KL, Crossley KM. Altered vastii recruitment when people with patellofemoral pain syndrome complete a postural task. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83: 989-95.
- ⁵⁵ Frank JS, Horak FB, Nutt J. Centrally initiated postural adjustments in parkinsonian patients on and off levodopa. *J Neurophysiol* 2000; 84: 2440-8.
- ⁵⁶ Elger K, Wing A, Gilles M. Integration of the hand in postural reactions to sustained sideways force at the pelvis. *Exp Brain Res* 1999; 128: 52-60.
- ⁵⁷ Lavoie BA, Devanne H, Capaday H. Differential control of reciprocal inhibition during walking versus postural and voluntary motor tasks in humans. *J Neurophysiol* 1997; 78: 429-38.
- ⁵⁸ Buchanan J, Horak F. Transitions in a postural task: do the recruitment and suppression of degrees of freedom stabilize posture? *Exp Brain Res* 2001; 139: 482-494.
- ⁵⁹ Henry SM, Fung J, Horak FB. Control of stance during lateral and anterior/posterior surface translations. *IEEE Trans Rehabil Eng* 1998; 6: 32-42.
- ⁶⁰ McIlroy W, Maki B. The 'deceleration response' to transient perturbation of upright stance. *Neurosci Lett* 1994; 175: 13-16.
- ⁶¹ Rietdyk S, Patla AE, Winter DA, Ishac MG, Little CE. NACOB presentation CSB New Investigator award. Balance recovery from medio-lateral perturbations of the upper body during standing. *North American Congress on Biomechanics. J Biomech* 1999; 32: 1149-58.
- ⁶² Seelen HAM, Potten YJM, Drukker J, Reulen JPH, Pons C. Development of new muscle synergies in postural control in spinal cord injured subjects. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 1998; 8: 23-34.
- ⁶³ Fitzpatrick R, Burke D, Gendevia SC. Loop gain of reflexes controlling human standing measured with the use of postural and vestibular disturbances. *J Neurophysiol* 1996; 76: 3994-4008.

-
- ⁶⁴ Henry SM, Fung J, Horak FB. EMG responses to maintain stance during multidirectional surface translations. *J Neurophysiol* 1998; 80: 1939-50.
- ⁶⁴ Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture* 1995; 3: 193-214.
- ⁶⁵ Blackburn JT, Riemann BL, Myers JB, Laphart SM. Kinematic analysis of the hip and trunk during bilateral stance on firm, foam, and multiaxial support surfaces. *Clin Biomech* 2003; 18: 655-661.
- ⁶⁶ Gosselin G, Rassoulian H, Brown I. Effects of neck extensor muscle fatigue on balance. *Clin Biomech* 2004; 19: 473-479.
- ⁶⁷ Grimstone SK, Hodges PW. Impaired postural compensation for respiration in people with recurrent low back pain. *Exp Brain Res* 2003; 151: 218-224.
- ⁶⁸ Riemann BL, Myers JB, Stone DA, Lephart SM. Effect of lateral ankle ligament anesthesia on single-leg stance stability. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(3): 388-396.
- ⁶⁹ Brown SH, Haumann ML, Potvin JR. The responses of leg and trunk muscles to sudden unloading of the hand: implications for balance and spine stability. *Clin Biomech* 2003; 18(9):812-820.
- ⁷⁰ Hodges PW, Moseley GL, Gabrielsson A, Gandevia SC. Experimental muscle pain changes feedforward postural responses of the trunk muscles. *Exp Brain Res* 2003; 151(2): 262-271.