



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche

SCUOLA DI DOTTORATO IN SCIENZE MEDICHE, CLINICHE E SPERIMENTALI

INDIRIZZO: SCIENZE GERIATRICHE ED EMATOLOGICHE

CICLO XXIII

***EFFETTI DI UN COMPITO SECONDARIO
SINGOLO O COMBINATO SULL'EQUILIBRIO ORTOSTATICO
IN GIOVANI E ANZIANI***

Direttore della Scuola: Ch.mo Prof. Gaetano Thiene

Coordinatore d'indirizzo: Ch.mo Prof. Fabrizio Fabris

Supervisore: Ch.mo Prof. Marco Zaccaria

Dottoranda: Silvia Tolomio

Indice

<i>RIASSUNTO</i>	1
<i>ABSTRACT</i>	3
CAPITOLO 1. EQUILIBRIO: DEFINIZIONE E SISTEMI DI CONTROLLO	5
1.1 Cos'è l'equilibrio	7
1.2 Le strategie di controllo posturale.....	10
1.3 I sistemi deputati al controllo dell'equilibrio.....	13
CAPITOLO 2. MODIFICAZIONI ETÀ-CORRELATE DEI SISTEMI DEPUTATI AL CONTROLLO DELL'EQUILIBRIO	17
2.1 Cambiamenti delle componenti periferiche e centrali dei sistemi sensoriali.....	19
2.2 Cambiamenti del sistema cognitivo	24
2.3 I cambiamenti sono reversibili?	25
CAPITOLO 3. TEST DI VALUTAZIONE DELL'EQUILIBRIO NELL'ANZIANO ... 27	
3.1 Test di valutazione dell'equilibrio attraverso scale (score)	29
3.2 Test di valutazione dell'equilibrio attraverso la misura della performance.....	33
3.3 Test di valutazione dell'equilibrio attraverso la misura delle oscillazioni del CoM o del CoP.....	35
3.4 Il paradigma dual-task.....	40

CAPITOLO 4. DISEGNO SPERIMENTALE	43
<i>INTRODUZIONE E OBIETTIVI</i>	45
<i>MATERIALI E METODI</i>	48
4.1 Soggetti.....	48
4.2 Protocollo di valutazione biomeccanica: valutazione cinetica dell'equilibrio ortostatico e cinematica del compito motorio	49
4.2.1 Valutazione cinetica	50
4.2.2 Valutazione cinematica	52
4.3 Descrizione delle prove	55
4.4 Variabili misurate	56
4.5 Analisi statistica	57
<i>RISULTATI</i>	58
<i>DISCUSSIONE</i>	71
<i>CONCLUSIONI</i>	79
 <i>BIBLIOGRAFIA</i>	 81

RIASSUNTO

È noto che il controllo dell'equilibrio richiede attenzione, così come è altrettanto noto che l'equilibrio è influenzato dalla concomitante esecuzione di un compito secondario, considerato che questo compete con le risorse attentive. Per questo motivo uno dei metodi per la valutazione del sistema di controllo posturale prevede di eseguire, insieme al primario compito di mantenere l'equilibrio, la concomitante esecuzione di un compito secondario (dual-task).

La misurazione delle oscillazioni del Centro di Pressione (CoP), durante il mantenimento della posizione ortostatica, è una delle variabili più utilizzate come indice della performance della capacità di equilibrio, nella quale si riversano anche i sistemi sensoriale e cognitivo.

A nostra conoscenza, finora solo due studi hanno esaminato gli effetti sull'equilibrio di un compito secondario motorio, ma i risultati sono controversi.

Inoltre, nonostante che durante le attività della vita quotidiana, sia frequente la combinazione di compiti multipli, l'influenza sull'equilibrio di due compiti secondari concomitanti non è ancora stata ben valutata.

Sulla base di queste premesse, l'obiettivo dello studio è stato quello di valutare come il compito primario di mantenere la posizione ortostatica (equilibrio), possa essere influenzato dall'esecuzione di un compito secondario di natura motoria, o di natura cognitiva, o ancora eseguendo simultaneamente i due compiti secondari. Inoltre, conoscendo l'importanza dell'invecchiamento sulla capacità di controllo dell'equilibrio, si è voluto valutare gli effetti della variabile età, confrontando i risultati ottenuti nei partecipanti anziani rispetto ad un gruppo di partecipanti adulti-giovani.

Allo studio hanno preso parte 2 gruppi misti (maschi e femmine) di partecipanti: il gruppo “Giovani” (17 partecipanti; età media di 31.8 anni) e il gruppo “Anziani” (15 partecipanti; età media di 65.6 anni).

Il protocollo prevedeva che il soggetto fosse in piedi sopra una pedana di forza e tale condizione rappresentava il compito primario di mantenimento dell’equilibrio ortostatico. A questo sono stati associati i diversi compiti secondari cognitivo, motorio ed entrambi eseguiti contemporaneamente. Il compito di tipo cognitivo consisteva nell’esecuzione del test visuo-spaziale di Brooks; il compito secondario di origine motoria consisteva nel mantenere bilanciato un cilindro posto sopra un vassoio, che il soggetto teneva con entrambe le mani.

I risultati di questo studio confermano che nell’anziano il controllo dell’equilibrio è peggiore rispetto a quello del giovane. Inoltre, sempre nell’anziano, a causa probabilmente di un alterato controllo dell’equilibrio dovuto al fisiologico processo di invecchiamento, l’esecuzione di un compito secondario di natura cognitiva, aumenta l’ampiezza delle oscillazioni del corpo, aumentando il rischio di uscire dalla base di appoggio e quindi di cadere.

Nei giovani, invece, l’esecuzione di un compito secondario di natura motoria, riducendo le oscillazioni del corpo, ha portato ad una maggiore stabilità. Ciò si è verificato probabilmente per la maggiore attenzione che i partecipanti hanno posto sul compito per garantire una base di appoggio più stabile per la performance del compito stesso.

Infine, l’esecuzione contemporanea di due compiti secondari porta ad effetti più deleteri negli anziani rispetto ai giovani, e rispetto agli effetti che i singoli compiti secondari possono causare. La ragione di questo risultato probabilmente risiede nella maggiore complessità e attenzione che un compito “triplo” richiede, la quale comporta una competizione delle risorse attentive, tale per cui l’esecuzione del compito secondario entra in conflitto con il controllo posturale e causa, a scapito di quest’ultimo, un peggioramento dell’equilibrio.

ABSTRACT

It is known that balance control requires attention as well it is known that postural control is affected by the simultaneous execution of a secondary task, since this competes for attentional resources. Thus one of the methods for the assessment of postural control implies to keep the upright balance while performing another secondary task (dual-task condition).

The measure of CoP fluctuations while standing on a force platform has been one of the most popular variables representing an output signal of the postural control system in which various pertinent cognitive and motor processes are reflected.

By now, only few studies have investigated the effects of a secondary motor task, but emerged results are conflicting.

Moreover, despite the frequent combination of multiple tasks during everyday life activities, the influence on postural balance of the concurrent execution of two different secondary tasks has not well investigated yet.

Based on these premises this study was aimed to investigate how the primary task of standing (upright balance) could be affected by the execution of a secondary motor task, or cognitive task, or the combined execution of both.

Moreover, we wanted to evaluate the effect of age on balance control, comparing two groups of participants, young adults and older adults.

Two groups (both composed of males and females) were involved in the study: “Young” (17 participants; mean age 31.8 years) and “Older adults” (15 participants; mean age 65.6 years).

The primary balance task was standing relaxed on a force platform. Then participants were asked to perform also the secondary motor task of balancing a free-rolling cylinder on a tray,

or the secondary cognitive task (the Brooks' spatial memory task), or both the secondary tasks executed simultaneously.

The results confirmed that older adults have a worse balance control than young people. Moreover, in older adults, a secondary cognitive task entailed wider body sways, hence it increased the risk of losing balance and so the risk of falls. This is probably due to an affected posture control linked to the physiological aging process.

In young people, instead, a secondary motor task reduced body sways and so increased postural stability. This was probably due to the higher attention that participants put on the task, to facilitate an optimal base for the execution of the secondary motor task.

Finally, the simultaneous execution of the secondary tasks caused worse effects in older adults than in young participants, and worse effects than those both the single motor and cognitive tasks entailed. A "triple" task could be considered more attention-demanding and more difficult to execute than the single secondary tasks; this probably caused a competition for attentional resources between the postural control and the "triple" task, which led to a disruption of balance control.

Capitolo 1

*EQUILIBRIO: DEFINIZIONE E SISTEMI DI
CONTROLLO*

1.1 Cos'è l'equilibrio

L'equilibrio si può definire come un processo attraverso il quale si controlla il centro di massa del corpo (CoM), rispetto ad una base di supporto, sia da fermi sia in movimento. Considerando le forze agenti sul corpo ed i movimenti corporei, il CoM rappresenta il punto del corpo in cui tutta la massa dello stesso, può considerarsi concentrata; viene definito anche come centro di gravità.

Per mantenere l'equilibrio in posizione ortostatica, il CoM deve essere mantenuto entro i confini della base d'appoggio, mentre durante il cammino, ad ogni passo il CoM deve essere spostato oltre la base di supporto, e va ristabilito in un altro punto. Sebbene generalmente si definisca lo stare in piedi, come equilibrio statico, e camminare come equilibrio dinamico, in realtà il mantenimento di una posizione stabile, richiede delle contrazioni attive dei gruppi muscolari responsabili del controllo del CoM contro la forza di gravità, la quale è fortemente destabilizzante.

Per comprendere a fondo il significato del processo di equilibrio, è necessario aver chiaro il significato di alcuni termini inclusi nella definizione stessa di equilibrio, quali: postura, controllo anticipatorio-reattivo posturale, limite di stabilità, capacità di oscillazione e mobilità.

Postura è sinonimo di buon equilibrio; con questo termine ci si riferisce all'allineamento biomeccanico dei vari segmenti corporei dell'individuo ed il loro orientamento nello spazio (Shumway-Cook & Woollacott, 2001).

Quando si è in piedi nello spazio, l'obiettivo è di allineare ogni parte del corpo verticalmente e di spendere la minima quantità di energia al fine di mantenere la posizione stabile (Fig. 1.1).

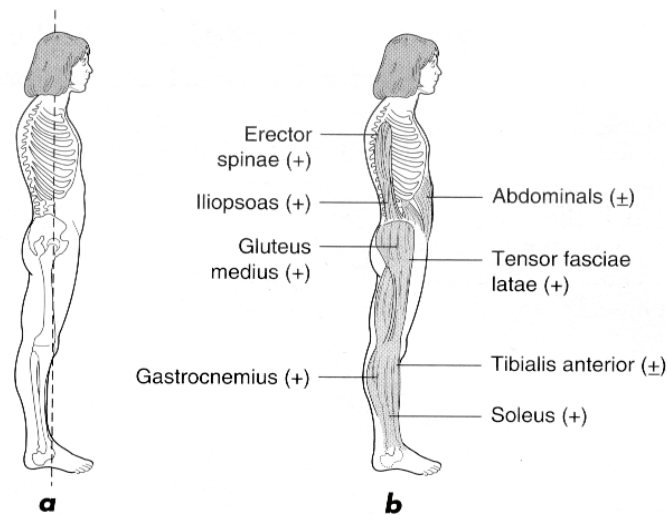


Figura 1.1. a) Buon allineamento posturale; b) Muscoli attivati (Da Rose, 2003).

Per contrastare la forza di gravità e conservare la posizione, un certo numero di muscoli è attivo e sono: il soleo ed il gastrocnemio, i tibiali anteriori (quando il corpo oscilla all'indietro), il gluteo medio, i tensori della fascia lata, l'ileopsoas, i muscoli erettori della regione toracica e del tronco ed i muscoli addominali (Basmajian & De Luca, 1985). Ogni significativo declino associato all'età, nella flessibilità pelvica e spinale, può portare ad uno stop della flessibilità e ad un inadeguato mantenimento della postura (Fig. 1.2), (Elble, 1997; Studenski et al. 1991).

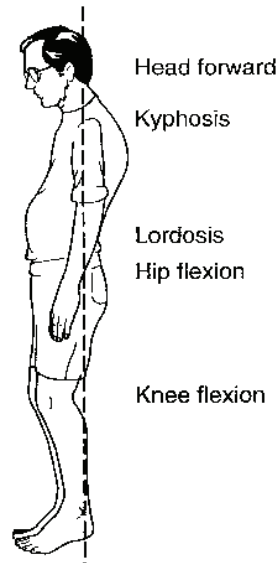


Figura 1.2. Cambiamenti posturali in età geriatrica.

I cambiamenti possono essere conseguenza di un problema muscolare o come significativo compenso di altri (artriti, emiplegia). Spesso si può osservare una flessione in avanti del capo, cosiddetta postura “Kyphotic”, con aumento della curva dorsale (Fig. 1.2) la quale può contribuire in modo importante, a ridurre i movimenti ponendo l’anziano a rischio di caduta.

Controllo posturale anticipatorio è il termine che viene utilizzato per descrivere tutte quelle azioni che possono essere previste e pianificate in anticipo (per esempio, superare un ostacolo nel nostro cammino); mentre per **controllo posturale reattivo** s’intende l’azione che deve essere messa in atto nelle situazioni non prevedibili e pianificabili in anticipo (per esempio, appoggiare il piede in una buca non vista).

Il **limite di stabilità** è la massima distanza o inclinazione che un individuo è in grado di raggiungere in ogni direzione, senza modificare la sua base di appoggio. Si stima che le persone siano in grado di oscillare in senso antero/posteriore di 12° e lateralmente di 16°

prima di superare la base di appoggio, condizione che rende necessario effettuare un passo, per mantenere l'equilibrio (Nasher, 1990). Questa capacità di oscillazione è definita anche “**sway envelope**”, o percorso a gomitolo, del CoM. Il gomitolo rappresenta il percorso dei movimenti del nostro corpo durante un'attività statica in posizione eretta, ed è spesso molto ridotto nei soggetti anziani, che presentano problemi di equilibrio. La riduzione e asimmetria dei limiti di stabilità possono essere causate da numerosi fattori, come debolezza muscolare, la riduzione del range di movimento (ROM), le alterazioni neurologiche o la paura di cadere.

La **mobilità** indica la capacità di muoversi in modo indipendente e sicuro da un posto ad un altro, o comunque in modo adeguato alle richieste della tipologia di attività svolta (Shumway-Cook et al. 2001).

1.2 Le strategie di controllo posturale

Gli studi condotti negli anni hanno rivelato l'esistenza di tre distinte strategie di controllo posturale utili al controllo dell'oscillazione del corpo ed al mantenimento dell'equilibrio. Le strategie sono:

- Ankle strategy
- Hip strategy
- Step strategy

Nell'**Ankle strategy** il corpo si muove come una singola entità attorno all'articolazione della caviglia, la parte inferiore e superiore del corpo oscillano nella stessa direzione. Questa strategia viene generalmente utilizzata quando ci troviamo in posizione eretta, quando

oscilliamo entro un piccolo range di movimento o, a livello subconscio, quando dobbiamo recuperare l'equilibrio in seguito ad una piccola spinta. Per un'efficace Ankle strategy è necessario:

- un adeguato range di movimento e di forza dei muscoli a livello dell'articolazione della caviglia;
- una superficie d'appoggio stabile e sufficientemente ampia; l'individuo deve avere la sensazione che i piedi debbano essere un tutt'uno con la superficie stessa;
- un adeguato livello di sensibilità nel piede e nella caviglia (esterocettori e propriocettori); gli anziani trovano particolarmente difficile applicare questa strategia perché si verifica un significativo declino della sensibilità di queste aree.

La **hip strategy** invece coinvolge un numero più alto di muscoli ed è utilizzata quando il CoM deve essere spostato oltre la base di supporto più rapidamente. Quando si utilizza questo tipo di strategia la parte superiore ed inferiore del corpo oscillano in direzioni opposte, in seguito all'attivazione dei muscoli del bacino per mantenere l'equilibrio. Questa strategia diviene importante quando aumenta la velocità ed il grado di oscillazione, oppure quando siamo su una superficie più stretta della lunghezza dei nostri piedi. Per un efficace hip strategy, è determinante un adeguato ROM ed una buona forza muscolare a livello del bacino. L'oscillazione laterale è controllata invece, dai muscoli adduttori e abductori della coscia, e una loro debolezza, può condurre ad un'alterata stabilità laterale.

L'ultima strategia di controllo, la **step strategy**, entra in gioco quando il CoM è posizionato oltre i limiti di stabilità o la velocità di oscillazione è così rapida, tale da impedire l'uso efficace della hip strategy. In questo caso è necessario stabilire una nuova base di appoggio, al fine di evitare di cadere. Questa strategia comporta l'esecuzione di uno o più passi nella

direzione della perdita dell'equilibrio. Alcuni ricercatori hanno osservato che nei soggetti non istruiti sulle modalità di esecuzione di un compito, o nell'effettuazione di più compiti contemporaneamente, lo step è anticipato rispetto alla reale perdita del limite di stabilità (Brown et al. 1999; McIlroy & Maki, 1996). Inoltre Maki e McIlroy sostengono che, quando il soggetto è libero di scegliere la strategia più adeguata, la step strategy sembra essere la preferita nonostante modeste perturbazioni. Un'efficace step strategy richiede:

- adeguati livelli di forza, potenza, ROM e afferenze somato-sensitive a livello degli arti inferiori;
- adeguata rapidità dei processi di controllo centrale del movimento;
- abilità nel muovere il più rapidamente possibile la gamba all'inizio del passo.

Sebbene ogni strategia di movimento sia descritta come un pattern a sé stante, in realtà esse vengono utilizzate in modo combinato al fine di poter controllare le oscillazioni e di garantire il mantenimento dell'equilibrio (Horak & Nasher, 1986).

In figura 1.2.1 sono rappresentate le tre strategie di controllo dell'equilibrio prima descritte.

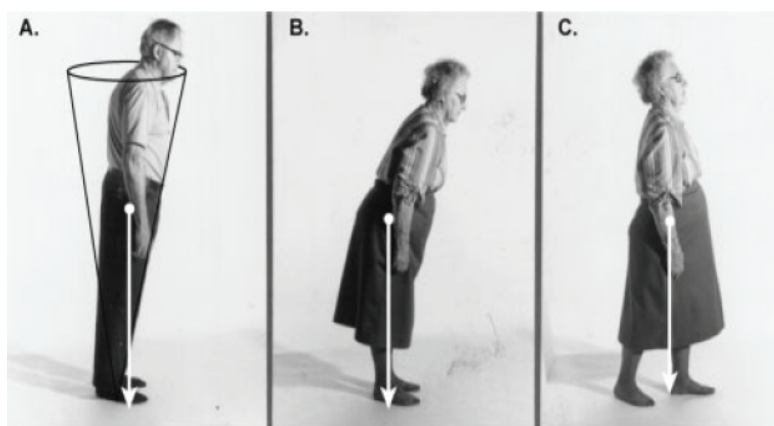


Figura 1.2.1. Le tre strategie di controllo posturale in posizione ortostatica: A) ankle, B) hip, C) step. In A il soggetto riesce ad spostare il suo CoM (punto bianco) in avanti, entro il proprio

limite di stabilità, rappresentato dall'area conica (normale limite di stabilità). In B il soggetto cerca di spostarsi avanti senza muovere il CoM in avanti (anormale limite di stabilità). In C il soggetto prova a spostare il CoM in avanti ma immediatamente esegue un passo per aumentare la base di appoggio (anormale limite di stabilità). La proiezione del CoM oltre la base d'appoggio è schematicamente indicata con la freccia bianca. (Da Horak, 2006)

1.3 I sistemi deputati al controllo dell'equilibrio

Differenti sono sistemi che contribuiscono alla capacità di mantenere l'equilibrio in posizione eretta, in condizioni statiche e dinamiche:

- il **sistema sensoriale** (visivo, somatosensitivo e vestibolare): provvede ad unire le informazioni che provengono dall'ambiente circostante. Sono informazioni importanti per portare a termine gli obiettivi del nostro piano d'azione, come aggiustamenti consci o subconsci, necessari a mantenere una posizione nello spazio o a rispondere rapidamente ad un cambio di compito. Generalmente i sistemi sensoriali vengono utilizzati per anticipare i cambiamenti d'azione;
- il **sistema neuro-muscolare** (attivazione sinergica muscolare): il sistema nervoso costringe i gruppi muscolari di ogni parte del corpo ad agire insieme, garantendo delle azioni coordinate;
- il **sistema cognitivo**: ha un ruolo importante nell'appropriata interpretazione delle informazioni e nella pianificazione della risposta motoria. Questo sistema comprende i processi di attenzione, memoria, intelligenza che provvedono all'abilità di anticipazione o di adattare le nostre azioni in risposta ai cambiamenti di compito o di domanda ambientale.

Ogni sistema risponde in modo differente alle varie informazioni che ci giungono; l'azione che ne deriva dipende fortemente dal sistema visivo, perché ci dà informazioni circa il movimento e la posizione nello spazio rispetto agli oggetti che ci circondano. Quando, infatti, ci si muove nello spazio, la visione ci aiuta a spostarci in sicurezza, e ad anticipare un'azione

nel caso di eventuali ostacoli. Attraverso il sistema somatosensoriale si percepisce la posizione nello spazio ed il movimento del nostro corpo dà informazioni che ci giungono dalla superficie di appoggio. Esso, inoltre, dà informazioni circa la posizione e i movimenti dei segmenti del corpo, ciascuno in rapporto a tutti gli altri. In assenza della visione, il nostro sistema somatosensoriale diviene la nostra primaria sorgente di informazioni per mantenere l'equilibrio e per muoverci nello spazio.

Il sistema vestibolare è un delicato meccanismo che risiede nell'orecchio interno e viene attivato nel momento in cui muoviamo la testa. Diviene particolarmente importante quando le informazioni visive e somatosensoriali sono poco accurate o non disponibili.

Nel momento in cui l'informazione arriva dai tre sistemi, va organizzata ed integrata utilizzando il sistema nervoso, che provvederà successivamente, insieme al sistema muscolo-scheletrico, a dare inizio ad un appropriato programma d'azione. Durante lo svolgimento di un'azione, continuano ad arrivare informazioni dai vari sistemi che ci consentono di modificare il piano d'azione in corso d'opera al fine di poter adattare l'azione alle varie situazioni. Questo complicato e continuo intergioco fra sistemi sensoriali, motorio e cognitivo è riferito ad un ciclo di percezione-azione.

Esiste a tal proposito un **modello dell'equilibrio dinamico** (Fig. 1.3.1) proposto in letteratura da Nasher (1990), in cui viene rappresentato il processo di percezione-azione. Nasher descrive l'esistenza di componenti periferiche (visive, somatosensoriali, vestibolari) e centrali che permettono di elaborare le informazioni provenienti dall'esterno e di generare l'azione muscolare più adatta alla situazione. È stato dimostrato che molti anziani devono porre molta attenzione nell'effettuare un compito di equilibrio, in particolar modo quando perdono le informazioni sensoriali (Shumway-Cook & Woollacott, 2000); inoltre, la distribuzione dell'attenzione fra due compiti nei soggetti anziani è particolarmente

difficoltosa e soprattutto per chi ha problemi di equilibrio o storia di cadute (Shumway-Cook, 1997; Brauer et al. 2002).

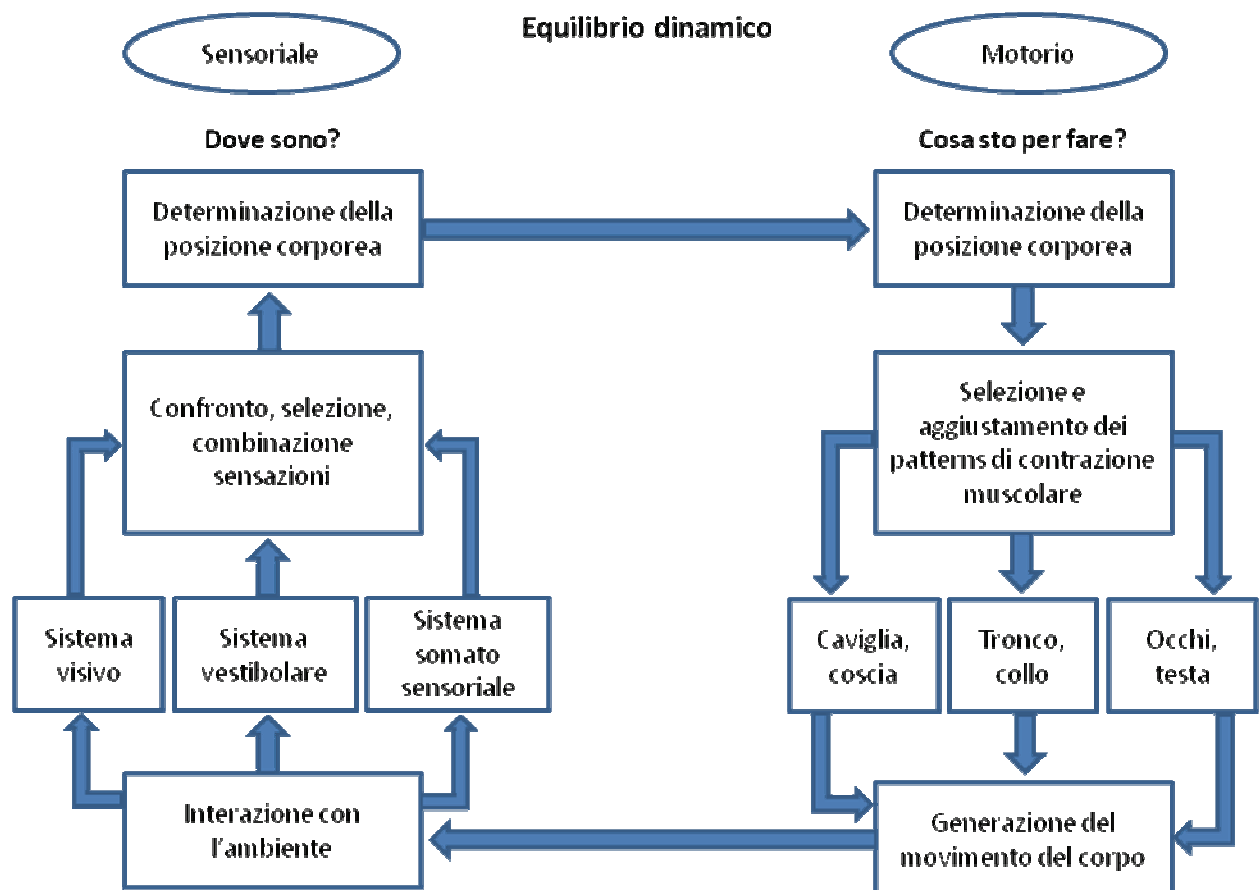


Figura 1.3.1. Modello dell'equilibrio dinamico (Nasher, 1990).

Capitolo 2

*MODIFICAZIONI ETÀ-CORRELATE DEI
SISTEMI DEPUTATI AL CONTROLLO
DELL'EQUILIBRIO*

Sfortunatamente le modificazioni della funzione dei sistemi che controllano l'equilibrio, sono inevitabili con l'invecchiamento. Un'ottimale funzione motoria si raggiunge attraverso l'interazione di differenti sistemi, interni ed esterni al SNC. Quando questi sistemi si alterano, anche la qualità dell'integrazione dell'informazione e la successiva risposta viene ad essere alterata. Se ad essere alterato è solo un sistema, ad esempio quello visivo, gli altri provvederanno a compensarne la mancanza; se però è più di un sistema ad essere modificato, allora l'abilità nell'integrazione e la risposta vengono fortemente alterate. Non solo la percezione dell'ambiente e la posizione nello spazio diventano carenti ed inaccurate, ma anche la nostra abilità e la velocità nella risposta vengono compromesse.

2.1 Cambiamenti delle componenti periferiche e centrali dei sistemi sensoriali

Dai cambiamenti età-correlati delle componenti periferiche e centrali del sistema visivo, somatosensoriale e vestibolare, ci si può aspettare di riflesso un problema dell'equilibrio e della mobilità, vista l'interdipendenza esistente tra processi d'entrata delle informazioni, la selezione di un'adeguata risposta motoria ed il successivo controllo. Come illustrato nella figura precedente (Fig. 1.3.1) i recettori periferici associati al sistema sensoriale sono responsabili dell'iniziale ricezione e successiva trasmissione di informazioni sensoriali, mentre le aree sensoriali sono responsabili del confronto, della selezione e della combinazione tra informazioni in entrata, che provengono dai vari sistemi, per guidare la successiva selezione delle risposte motorie.

Modificazioni della funzione visiva

I comuni cambiamenti associati all'età includono:

- riduzione dell'acuità visiva
- riduzione della percezione della profondità
- riduzione della sensibilità al contrasto
- restringimento del campo visivo ed in particolar modo della regione periferica

Queste modificazioni alterano la qualità del segnale che giunge a livello centrale, rallentano la velocità di elaborazione del feedback sensorio in arrivo, riducono la capacità di integrazione degli stimoli sensoriali in arrivo ed alterano la percezione della posizione del corpo nello spazio.

Un individuo anziano ha difficoltà a percepire in modo accurato o anticipato, le variazioni nelle condizioni delle superfici, o la presenza di condizioni di rischio nell'ambiente. Alcune patologie come cataratta, glaucoma, degenerazione della macula sono associate ad un incremento delle cadute (Fig. 2.1.1).



Figura 2.1.1. Modificazioni del sistema visivo in diverse patologie: glaucoma, degenerazione maculare e cataratta.

Modificazioni a carico del sistema motorio

L'apparato muscolare degli anziani è colpito da sarcopenia, cioè una perdita di massa e di forza muscolare, con alterazione e cambiamenti della distribuzione dei tipi di fibre. I meccanismi che innescano la sarcopenia sono: il disuso, la morte di motoneuroni, la malnutrizione e alcune alterazioni di tipo endocrino. Analizzando le fibre muscolari di un anziano, si osserva un generale declino della sintesi proteica e una diminuzione più marcata delle fibre rapide di tipo IIa e IIx, rispetto a quelle lente tipo I. Questo cambiamento è determinato da una riduzione della biogenesi mitocondriale e delle capacità ossidative, dovuta innanzitutto a un ridotto numero di copie di DNA mitocondriale in rapporto al DNA nucleare, e ad una risintesi della PCr più lenta negli anziani rispetto ai giovani. La fosfocreatina ha, infatti, funzione di ripristinare le scorte di ATP che sono state consumate soprattutto durante attività che comprendono sforzi brevi e intensi. Tutte insieme le modificazioni comportano inevitabilmente una diminuzione di forza, potenza e resistenza muscolare. La forza si riduce soprattutto nella parte inferiore del corpo. Fra i 50 e 70 anni la forza cala di circa il 30% e molto di più dopo gli 80 anni (Lindle et al. 1997). Mentre la resistenza decresce e comporta un rapido affaticamento durante l'esecuzione di un determinato compito, riflettendosi in un maggior rischio di caduta o perdita di equilibrio.

I cambiamenti che interessano la funzione motoria includono:

- misure cronometriche (tempo di reazione, movimento,) usate per quantificare il tempo richiesto per pianificare ed eseguire un'azione; è stato rilevato che c'è un declino nella fase di planning dell'azione (delay tra input sensoriale e risposta motoria appropriata) (Spiriduso, 1995);
- difficoltà nel selezionare l'appropriata strategia motoria in una determinata situazione;

- inappropriata entità di risposta (eccessiva o insufficiente), ad esempio la risposta ad una spinta che modifica il centro di gravità;
- alterazioni nella sequenza temporale di attivazione muscolare in risposta ad una perturbazione (risposte posturali inappropriate) (Alexander, 1994);
- perdita della capacità di anticipare cambiamenti ambientali con adattamenti posturali; ciò a causa della riduzione della velocità di elaborazione dovuta ad un declino sia delle componenti periferiche e centrali del sistema sensoriale, sia delle componenti centrali del sistema motorio;
- riduzione di forza, resistenza e potenza muscolare; la forza si riduce soprattutto nella parte inferiore del corpo. L'inattività fisica contribuisce alla perdita della forza muscolare soprattutto a carico dei muscoli posturali utili al mantenimento di una buona postura e di un buon equilibrio. Anche la resistenza (abilità nel contrarre un muscolo in modo continuo e submassimale) decresce con l'età e comporta un rapido affaticamento durante l'effettuazione di un determinato compito. Tale decremento, nei soggetti anziani si riflette in un maggior rischio di caduta o perdita di equilibrio. Infine, la riduzione della potenza (forza prodotta dalla contrazione veloce e breve di un muscolo), ha conseguenze negative sull'esecuzione di attività di base come camminare, salire le scale, alzarsi dalla sedia;
- riduzione del numero di unità motorie, ciò implica una riduzione dell'abilità ad eseguire velocemente un movimento (Erim et al. 1999);
- i cambiamenti neuro-muscolari del sistema motorio, si accompagnano ad una perdita dell'abilità nel controllo anticipatorio posturale a causa di una riduzione della velocità di processo, negli anziani incrementa notevolmente il rischio di caduta. La perdita della forza associata a cambiamenti strutturali può ridurre la flessibilità, avendo effetti avversi sull'allineamento posturale e sulla qualità del movimento dei soggetti anziani.

Malattie come osteoartrite ed artrite reumatoide, influenzano l'integrità dei soggetti e comportano problemi di equilibrio, legati anche al fatto che il dolore tipico di queste patologie, riduce il ROM.

Modificazione della funzione somato-sensoriale

Le alterazioni delle componenti periferiche della funzione somato-sensoriale, alterano la stabilità posturale e la capacità di recuperare la postura eretta dopo una perdita dell'equilibrio.

Ciò che si verifica è:

- un incremento da 2 a 10 volte della soglia di sensibilità vibratoria e cioè una ridotta capacità a percepire la qualità del contatto tra sé stessi e la superficie sottostante;
- variazioni dell'attività dei fusi neuro-muscolari e dei propriocettori articolari.

Modificazione della funzione vestibolare

I cambiamenti associati all'età includono:

- riduzione della densità delle cellule capellute (già dai 30 anni), necessarie per la percezione dei movimenti del capo. Tale riduzione comporta un incremento delle oscillazioni, soprattutto in assenza o distorsione dell'input visivo quando le informazioni somatosensoriali sono alterate;
- riduzione del riflesso vestibolo-oculare (VOR) (Wolfson, 1997); poiché questo riflesso aiuta a stabilizzare la visione mentre muoviamo la testa rapidamente, qualsiasi sua alterazione influenza la nostra capacità, in determinate situazioni, di stabilire se siamo noi o, al contrario, l'ambiente esterno a muoversi.

Il sistema vestibolare diviene elemento fondamentale nel momento in cui le informazioni visive sono assenti o quando le informazioni visive e sensoriali sono distorte. Anche la

presenza di input sensoriali conflittuali crea spesso problemi all'individuo anziano (ad esempio, camminare in un grande spazio dove vi sia molta gente).

Infine, con l'avanzare dell'età nel **sistema nervoso centrale** si verifica la perdita di neuroni, sia cerebrali che motoneuroni, e di connessioni fra neuroni. La morte dei neuroni avviene per diverse cause. Durante lo sviluppo alcuni neuroni vengono persi a causa di un probabile processo selettivo, mentre durante la senescenza i possibili fattori scatenanti la perdita sono: il disuso di alcuni di essi o di alcune connessioni; alcune malattie degenerative; i traumi e le necrosi.

Queste alterazioni comportano una perdita della memoria soprattutto di quella a breve termine rispetto a quella a lungo termine. Complicato per un anziano è inoltre il recupero delle informazioni e il cambiamento dei metodi di lavoro sia in immagazzinamento che in recupero.

2.2 Cambiamenti del sistema cognitivo

I cambiamenti associati all'invecchiamento non interessano solo i sistemi sensoriali e motorio, ma anche il sistema cognitivo. Infatti, almeno il 10% degli individui con età superiore ai 65 anni, ed il 50% di quelli con età sopra gli 80 anni presentano qualche tipo di alterazione cognitiva come, ad esempio, la demenza (Yaffe et al. 2001). Altri cambiamenti interessano i processi di memoria, di attenzione ed intelligenza e quindi hanno effetti sull'abilità degli anziani ad anticipare ed adattarsi ai cambiamenti dell'ambiente. L'anziano trova particolarmente difficile registrare e modificare informazioni nella memoria "operativa" (memoria di lavoro) quando è presente un secondo compito che ha un certo grado di difficoltà (processo particolarmente problematico quando uno dei due compiti è il mantenimento dell'equilibrio) (Brown, 1999).

Inoltre, con l'invecchiamento si verificano alterazioni dell'intelligenza soprattutto nella componente fluida (capacità di ragionamento, di risolvere problemi o di correlare concetti astratti) piuttosto che nella componente cristallizzata (capacità verbali, numeriche e spaziali). Le modificazioni dell'intelligenza fluida producono una probabile alterazione nella capacità di scelta rapida a problemi di ordine motorio.

2.3 I cambiamenti sono reversibili?

Malgrado i molteplici cambiamenti correlati all'età che si verificano a livello dei vari sistemi appena descritti, vi è un evidente certezza che è possibile ribaltare o comunque ridurre la percentuale di declino. Diversi studi in letteratura, sono concordi nel dire, che adeguati protocolli di valutazione e programmi di attività motoria permettono di migliorare, oltre che la forza muscolare e la resistenza, anche l'equilibrio, la mobilità articolare e la postura (Rose & Clark 2000; Rose & Hernandez et al 2010), oltre che ridurre il rischio di caduta. In particolare, si sono dimostrati efficaci interventi che prevedevano l'esecuzione di compiti diversi in situazioni diverse (Buchner et al. 1997; Rose 1997; Wolfson et al. 1996).

Capitolo 3

*TEST DI VALUTAZIONE
DELL'EQUILIBRIO NELL'ANZIANO*

Con la senescenza, gli organi e i sistemi deputati al mantenimento dell'equilibrio vanno progressivamente incontro a un deterioramento che spesso è fisiologico ma a volte può essere di natura patologica. Questa condizione comporta che nell'anziano le cadute e le conseguenti fratture si presentino con maggior frequenza, portando in alcune circostanze a limitazioni funzionali o a vere e proprie condizioni di disabilità.

Per cercare di ridurre le possibilità di caduta, l'azione principale è la prevenzione, che si attua in primis individuando i soggetti a più alto rischio. L'attività di screening può essere eseguita tramite diversi test, che sono in grado di quantificare il livello di rischio di caduta, oltre che fornire i parametri necessari per creare un appropriato programma di prevenzione, mirato al rafforzamento delle capacità residue del soggetto.

I test di valutazione secondo le variabili prese in esame sono suddivisibili in tre diverse categorie: la prima è composta da quei test che misurano l'equilibrio attraverso delle scale (score); la seconda comprende i test che stimano l'equilibrio tramite la misura di una performance; dell'ultima categoria fanno parte invece, i test che valutano l'equilibrio mediante la misura delle oscillazioni del CoM.

3.1 Test di valutazione dell'equilibrio attraverso scale (score)

Berg Balance Scale (Berg et al. 1992)

La Berg Balance Scale (BBS) è una scala per la valutazione delle alterazioni dell'equilibrio nel paziente anziano. È ordinale, il punteggio va da 0 a 56, si impiegano circa 15-20 minuti

per la sua esecuzione, ed è costituita da 14 item con un punteggio che va da 0 a 4, dove 0 è la minima performance e 4 è la massima performance.

La stratificazione del punteggio proposta dagli autori consta di due classi:

- a) con punteggio inferiore a 45 il rischio di caduta è presente ed aumenta al diminuire del punteggio
- b) con punteggio uguale o maggiore a 45 non si segnala alcun rischio di caduta.

Questa scala valuta sia l'equilibrio statico che dinamico, attraverso la simulazione, per la maggior parte dei compiti richiesti, di attività della vita quotidiana. I 14 item della scala sono: alzarsi dalla sedia, rimanere in stazione eretta senza supporto, stare seduti senza appoggio della schiena ma con i piedi a terra, passare dalla stazione eretta a seduti, spostarsi da una sedia ad un'altra, mantenere la stazione eretta senza appoggio della schiena e con gli occhi chiusi, stare in posizione eretta con i piedi uniti, allungarsi in avanti a braccia tese, raccogliere un oggetto dal pavimento partendo dalla posizione eretta, girarsi e guardare dietro sia a destra che a sinistra, ruotare di 360°, eseguire delle toccate alternate su una panca, mantenere la posizione in tandem, rimanere in appoggio monopodalico.

La BBS è molto usata a livello internazionale grazie alla sua economicità e per la semplicità di esecuzione ed inoltre mostra una affidabilità intra-operatore molto elevata. È da notare, però, che l'operatore che deve somministrare e valutare i diversi compiti deve essere preparato e attento nello stimare la correttezza dei diversi item richiesti.

Tinetti Balance Scale (Tinetti, 1986)

La Tinetti Scale o POMA (Performance-Oriented Mobility Assessment) è una scala utilizzata a livello mondiale per la valutazione di equilibrio ed andatura in soggetti anziani cognitivamente integri.

È un test osservazionale e di performance, che quantifica la prestazione motoria ed identifica i soggetti a rischio di caduta.

Necessita di un minimo addestramento dell'operatore che la deve utilizzare, e richiede circa 8-10 minuti per la somministrazione.

La Tinetti Scale è una scala ordinale composta da 17 item ai quali viene attribuito un punteggio che varia da 0 a 2, dove con 0 si indica l'incapacità, con 1 la capacità con adattamento e con 2 la capacità senza adattamento, di eseguire la prova. Alcune performance hanno, invece, un punteggio dicotomico 1 o 0, in funzione rispettivamente dell'adeguatezza o inadeguatezza del loro svolgimento.

La scala riproduce i cambi di posizione, le manovre di equilibrio e gli aspetti del cammino, necessari per lo svolgimento in sicurezza e con efficienza delle attività della vita quotidiana ed è composta da due sezioni: la prima per l'equilibrio (BPOMA) che consta di 9 prove, e la seconda per l'andatura (GPOMA) che consta di 7 prove. La parte che riguarda l'equilibrio valuta i seguenti item: equilibrio da seduto; alzarsi dal letto; tentativo di alzarsi; equilibrio nella stazione eretta immediata e prolungata; prova di Romberg; prova di Romberg sensibilizzato; girarsi di 360°; sedersi.

Quella per l'andatura valuta le caratteristiche del cammino con i seguenti item: inizio della deambulazione; lunghezza e altezza del passo; simmetria del passo; continuità del passo; deviazione dalla traiettoria; stabilità del tronco; modalità del cammino.

Il punteggio totale che va da 0 a 28 è dato dalla somma dei punteggi delle due sezioni: equilibrio (da 0 a 16 punti) ed andatura (da 0 a 12 punti).

In base ai risultati il soggetto viene classificato in: non deambulante (punteggio minore di 2); a rischio di caduta (punteggio tra 2 e 19); a rischio moderato di caduta (punteggio tra 20 e 24); privo di rischio (punteggio sopra i 24).

La sezione della scala di Tinetti per la valutazione dell'andatura, rispetto a quella riguardante l'equilibrio, è ritenuta meno utile nel determinare il rischio di caduta e il punteggio totale della scala (Equilibrio+Andatura) offre in tal senso un minimo vantaggio rispetto al solo punteggio della componente equilibrio. Perciò, secondo alcuni autori, il tempo richiesto per somministrare anche la seconda parte del test non sarebbe giustificato ai fini della prevenzione di tale rischio (Topper et al. 1993).

Dynamic Gait Index (Shumway-Cook, 1997)

Il Dynamic gait index (DGI) è stato ideato da Shumway-Cook nel 1997, per valutare il rischio di caduta negli anziani e la capacità di modificare la marcia in base ad alcune modificazioni ambientali, tutto questo testando alcuni aspetti della deambulazione.

Condizione necessaria perché si possa eseguire questo test è, quindi, che la popolazione anziana presa in esame sia in grado di camminare.

Anche la DGI è un test basato sull'osservazione quindi il personale che compie la valutazione deve essere adeguatamente addestrato. Gli otto aspetti della deambulazione che vengono quantificati sono: camminare su superficie piana; cambiare velocità del passo; rotazione orizzontale e verticale del capo mentre si cammina; camminare attorno ad un oggetto; sorpassare un ostacolo; girare durante il cammino; salire le scale.

Il giudizio dell'esaminatore va da un minimo di 0, a cui corrisponde un'alterazione severa, a un massimo di 3, cui corrisponde normalità. Il punteggio massimo è di 24 e per eseguire l'intero test servono circa 15 minuti.

Il DGI è stato dimostrato essere un buon metodo, indipendente dalla variabile età, per identificare nei soggetti con disordini vestibolari quelli a rischio di caduta (Withney et al. 2000).

3.2 Test di valutazione dell'equilibrio attraverso la misura della performance

Time up and go test (Podsiadlo, 1991)

Il Time Up and Go test (TUG) è un test veloce e facile da somministrare, dura da 1 a 3 minuti, e valuta la mobilità funzionale di un soggetto (Withney et al. 1998). Inoltre, non necessita di training per la sua somministrazione o di operatori specializzati.

Si misura il tempo impiegato dal soggetto per alzarsi da una sedia con braccioli, percorrere 3 metri di cammino, girarsi, tornare indietro e risedersi. La procedura va fatta ripetere per tre volte e va considerato il tempo migliore.

Il soggetto che sta eseguendo il test non deve essere aiutato, ma può utilizzare ausili per la deambulazione come bastoni o tripodii se usualmente ne usufruisce.

In base al tempo effettuato si assegna anche un punteggio che va da 1 a 5. Con il punteggio 1 si indica un soggetto "normale", cioè che non presenta rischio di caduta. mentre con 5 si individua un rischio elevato.

Functional Reach Test (Duncan et al. 1990)

Il Functional Reach Test (FRT) è una prova attitudinale che valuta le condizioni di equilibrio che possono contribuire al rischio di caduta. Si posiziona il soggetto in modo che con una spalla tocchi la parete. In seguito gli si fa alzare il braccio vicino sul lato della parete, tenendolo dritto davanti a sé con il pugno chiuso. Poi si chiede al soggetto di allungarsi in avanti, sempre tenendo il braccio teso, e far scivolare il pugno lungo la parete, senza spostare i piedi e senza perdere l'equilibrio. Il punto in cui il soggetto, per allungarsi in avanti, è costretto ad alterare la sua base d'appoggio (alza i talloni, sposta un piede avanti) è considerato la massima distanza che lo stesso è in grado di raggiungere.

Una distanza minore di 15 cm, secondo gli autori, è associata ad un aumento del rischio di caduta. Il limite del FRT è che valuta solo la stabilità sul piano frontale non altri aspetti dell'equilibrio o della performance.

Modified Clinical Test of Sensory Interaction in Balance (Shumway Cook & Horak, 1986)

Il Modified Clinical Test of Sensory Interaction in Balance (M-CTSIB) è impiegato per valutare la capacità dell'anziano di utilizzare differenti affluenze sensoriali (visiva, vestibolare e somatosensoriale) nel mantenimento dell'equilibrio ortostatico.

Il test consiste nel restare immobili per 30 secondi, in posizione eretta con i piedi a larghezza delle spalle e le braccia incrociate sul petto, in 4 differenti condizioni: occhi aperti, su superficie stabile; occhi chiusi, su superficie stabile; occhi aperti, su superficie instabile (soffice); occhi chiusi, su superficie instabile (soffice). Ogni condizione presuppone l'integrazione di diversi sistemi sensitivi in particolare:

1. occhi aperti, su superficie stabile: il soggetto può avvalersi del sistema visivo, vestibolare e somatosensoriale;
2. occhi chiusi, su superficie stabile: utilizza i sistemi vestibolare e somatosensoriale;
3. occhi aperti, su superficie instabile: sono disponibili la visione e il sistema somatosensoriale;
4. occhi chiusi, su superficie instabile: è disponibile solamente il sistema vestibolare.

Ogni prova viene interrotta se il soggetto alza le braccia dal petto, richiede assistenza in caso di perdita di equilibrio, apre gli occhi in anticipo rispetto alla conclusione della prova, o muove i piedi dalla posizione di partenza. Le prove vanno dalla condizione più semplice alla più complessa; si parte dalla prima (occhi aperti, superficie stabile) e il passaggio alla prova successiva avviene solo nel caso si esegua correttamente (mantenere l'equilibrio per 30 sec) quella in corso. In caso di insuccesso è concesso di ripetere la prova una seconda volta.

Per ogni prova si registrano i secondi in cui la persona riesce a mantenere l'equilibrio. Il punteggio massimo realizzabile è quindi di 120 secondi.

La difficoltà o l'incapacità di portare a termine la prima prova evidenzia nel soggetto un possibile deficit alla vista, o al sistema vestibolare o a quello somatosensoriale; oppure infine delle difficoltà d'integrazione delle informazioni che derivano dai tre diversi sistemi. Così come per la prima prova, è possibile riscontrare nella seconda terza e quarta un deficit, rispettivamente, nel sistema vestibolare o somatosensoriale; nel sistema visivo o somatosensoriale; nel sistema vestibolare.

3.3 Test di valutazione dell'equilibrio attraverso la misura delle oscillazioni del CoM o del CoP

Baropodometria

Si deve al centro di ricerca dell'Università di Montpellier, diretto dal Prof. Pierre Rabishong, la messa a punto, nel 1978, del sistema computerizzato di rilevazione delle pressioni per lo studio dei carichi podalici in statica e dinamica.

Il baropodometro è un dispositivo costituito da una pedana con applicati dei sensori collegati ad un sistema informatico. Ciò che il sistema misura sono le reazioni a terra, in stazione eretta (analisi statica) e in deambulazione (analisi dinamica). In questo modo, tramite un esame baropodometrico, vengono individuati vari parametri, la cui corretta interpretazione consente di valutare, con alta precisione, il comportamento generale del sistema tonico posturale del soggetto rispetto agli indici di normalità. Le acquisizioni sono precise, istantanee, ripetibili, non invasive e consentono di ridurre i controlli radiografici.

Ad esempio, è possibile rilevare le proiezioni a terra dei vari baricentri e le distribuzioni del carico del corpo in statica e in deambulazione, nonché la curva di svolgimento del passo (andamento del baricentro generale del corpo durante il passo).

L'analisi baropodometrica risulta fondamentale nella determinazione delle variazioni ambientali capaci di guidare, in maniera controllata, il baricentro generale corporeo, sia in statica che in deambulazione.

Stabilometria (posturografia)

La stabilometria è un sistema deputato alla valutazione delle capacità di controllo posturale di un soggetto immobile in stazione eretta, misurandone le oscillazioni posturali. Lo strumento si compone di un piano liscio, duro, su cui il paziente si posiziona con i piedi disposti con un angolo di 30°. Il piano è collegato a tre sensori disposti a formare un triangolo equilatero che rilevano la posizione della proiezione al suolo del baricentro, inviando le informazioni ad un elaboratore che la rappresenta sul monitor, e la monitorizza nell'arco del tempo in cui viene condotto l'esame.

La quantificazione e l'analisi delle oscillazioni posturali del soggetto avviene attraverso la misurazione dei seguenti parametri: lo stabilogramma, ossia lo spostamento del centro di gravità in funzione del tempo, separando la componente X (oscillazioni sul piano laterale) dalla componente Y (oscillazioni sul piano sagittale) (Fig. 3.3.1); lo statokinesigramma, ossia l'area entro cui si muove, relativamente agli assi X e Y, la proiezione a terra del centro di massa (Fig. 3.3.2); lo spettro di frequenza delle oscillazioni; l'analisi dei vettori di forza rispetto ai piani frontale e sagittale.

Dall'elaborazione di tali parametri si possono ricavare informazioni riguardanti l'atteggiamento posturale del paziente esaminato.

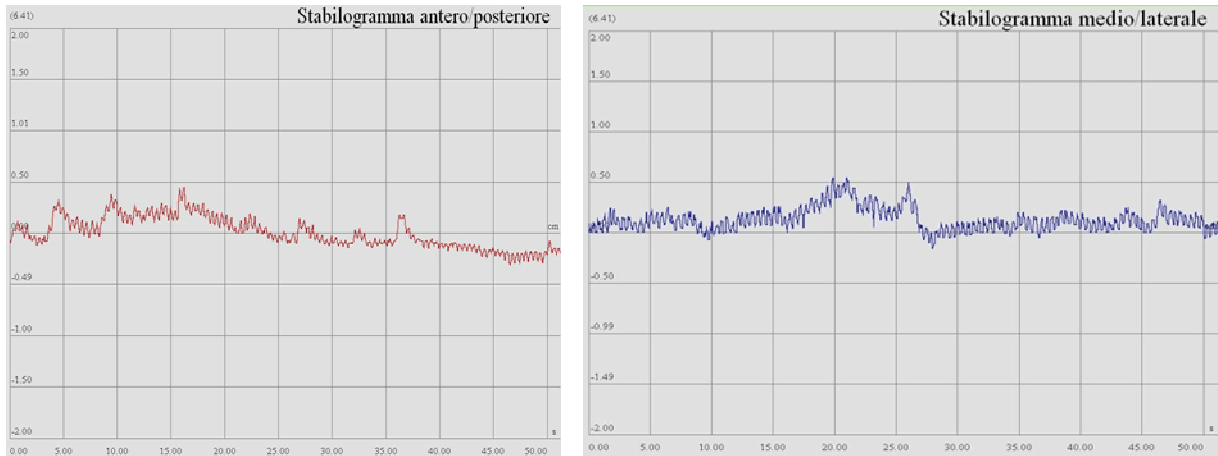


Figura 3.3.1. Esempio di stabilogramma antero/posteriore, come coordinata degli spostamenti sull'asse Y, e medio/laterale, come coordinata degli spostamenti sull'asse X. È il grafico delle coordinate del centro di pressione in funzione del tempo; la scala temporale è riportata in ascissa.

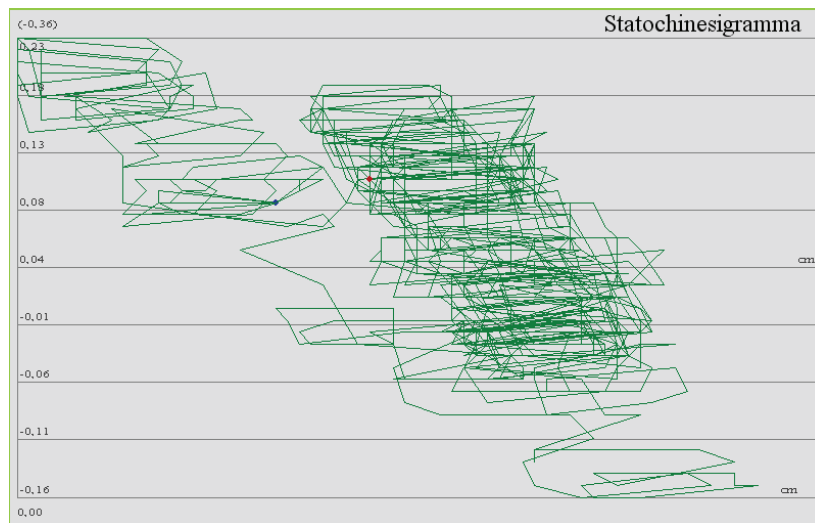


Figura 3.3.2. Esempio di statokinesigramma eseguito ad occhi aperti. È un grafico qualitativo che esprime con immediatezza la traiettoria del CoP (è detto anche gomitolato).

I limiti della stabilometria statica vengono superati da quella dinamica, ossia con apparecchiature in grado di valutare separatamente il contributo al mantenimento dell'equilibrio fornito dai sistemi vestibolare, visivo e somatosensoriale come il Sensory Organization Test.

Sensory Organization Test

Il Sensory Organization Test (SOT) o meglio conosciuto come posturografia dinamica computerizzata, è uno dei test più all'avanguardia per identificare problemi di controllo posturale e di equilibrio, attraverso la valutazione dell'abilità nell'uso d'informazioni visive, vestibolari e propriocettive. Questa tipologia di esame si usa per analizzare i contributi di ogni sistema, in modo isolato ed in modo combinato. Specificatamente il SOT misura l'abilità individuale nel momento in cui si utilizzano stimoli visivi, e/o somatosensoriali e/o vestibolari, e sopprimendo ogni sistema, nel momento in cui esso dia informazioni inaccurate sulla posizione del corpo in certe condizioni sensoriali. Per la valutazione viene richiesto al soggetto di posizionarsi in piedi in una cabina chiusa su tre lati, sopra una piattaforma resa instabile dall'applicazione di forze esterne (Fig. 3.3.3).



Figura 3.3.3. Soggetto posizionato sulla pedana di valutazione.

Mediante la tecnica del “sway-referencing”, è possibile valutare il movimento, i deficit o l'eventuale incapacità nell'uso dei sistemi sensoriali (Spirduso et al. 2005).

Il test prevede sei condizioni sensoriali a cui sottoporre il soggetto: occhi aperti, superficie stabile, visione fissa; occhi chiusi e superficie stabile; occhi aperti, superficie stabile, visione sway-referenced (si muove in modo coordinato rispetto alle oscillazioni del baricentro); occhi aperti, superficie instabile, visione fissa; occhi chiusi superficie instabile; occhi aperti, superficie instabile, visione che si muove seguendo le oscillazioni della base d'appoggio, come illustrato in figura 3.3.4.

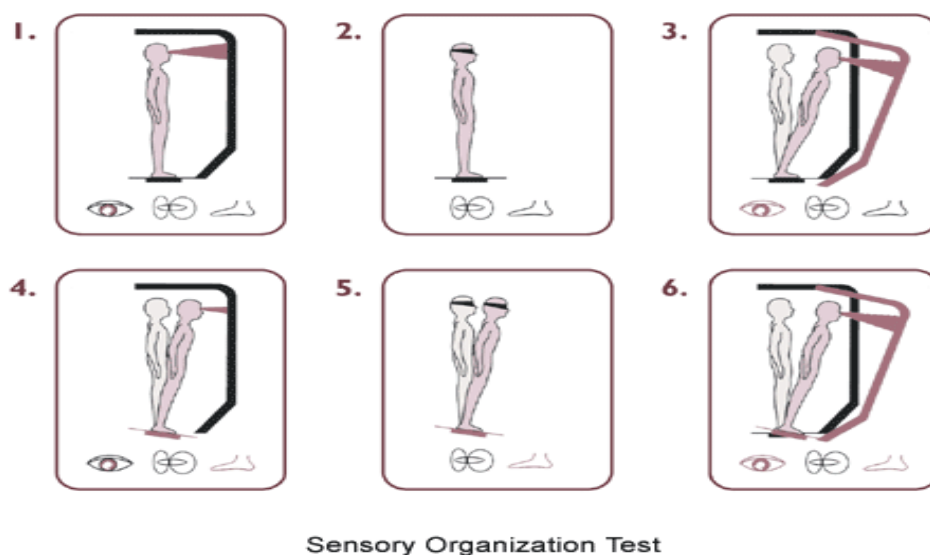


Figura 3.3.4. Rappresentazione delle sei diverse condizioni a cui il soggetto è sottoposto durante la valutazione posturografica dinamica.

Riassumendo, il test mette in relazione le analisi condotte sulle diverse capacità sensoriali con l'equilibrio per determinare eventuali deficit di uno o più sensi.

In particolare nelle condizioni uno e due, viene rilevata l'abilità di mantenere l'equilibrio usando le informazioni provenienti dal sistema somatosensoriale; nelle condizioni quattro e uno, le informazioni provenienti dal sistema visivo; nelle condizioni cinque e uno, gli input che derivano dal sistema vestibolare; per quanto riguarda le condizioni tre, sei, due e cinque

si analizza anche quanto il soggetto si affida alle informazioni che derivano dal sistema visivo per mantenere l'equilibrio anche quando le informazioni sono manipolate quindi non veritiere.

Inoltre il Sensory Organization Test è utilizzato per indagare i cambiamenti che avvengono a livello di organizzazione sensoriale con l'avanzare dell'età. È stato, infatti, dimostrato che, se vengono manipolati due o tre sistemi sensoriali, le oscillazioni nella popolazione anziana aumentano in maniera significativa rispetto a quelle che si registrano in un campione di adulti (Spirduo et al. 2005).

3.4 Il paradigma dual-task

Il paradigma dual-task (del doppio compito) è una procedura sperimentale usata in psicologia cognitiva e in neuropsicologia. Esso consiste nel richiedere ai partecipanti all'esperimento di svolgere due compiti simultaneamente: se la prestazione ai due compiti è inferiore a quella che si otterrebbe svolgendo uno solo di essi, significa che i due compiti interferiscono tra loro, e questo implica che essi "competono" per le stesse risorse all'interno del sistema cognitivo. Se al contrario, i due compiti vengono svolti altrettanto bene simultaneamente o separatamente, si deduce che essi fanno affidamento su risorse cognitive differenti, e quindi, presumibilmente, su strutture (o aree cerebrali, in neuropsicologia) differenti.

L'interpretazione più diffusa del paradigma del doppio compito è definibile in termini di limiti attentivi. Tale assunto sostiene che le risorse (capacità) cognitive siano limitate e suddivisibili tra compiti diversi; nella condizione dual-task, se i due compiti che vengono eseguiti contemporaneamente richiedono più della capacità attentiva totale, la performance in uno o entrambi sarà alterata.

Da quando il controllo dell'equilibrio, anche se ortostatico, è riconosciuto come processo che richiede attenzione (Lajoie et al. 1993), una sempre più ampia produzione di studi sta utilizzando il paradigma dual-task, allo scopo di determinare se azioni secondarie possono interferire con la capacità di equilibrio e, nella peggiore delle ipotesi, aumentare il rischio di caduta (vedi Woollacott & Shumway-Cook, 2002 e Lacour et al. 2008, come review).

A partire dal pionieristico studio di Fearing (1925), i protocolli di valutazione dell'equilibrio che utilizzano il paradigma del doppio compito, tipicamente prevedono di valutare la sola performance dell'equilibrio, considerato il compito primario (single-task), mediante pedane di forza, e di confrontare tale risultato con la performance ottenuta, invece, nella condizione dual-task, in cui l'equilibrio è cioè mantenuto durante l'esecuzione contemporanea di un secondo compito.

Anche se i risultati di questi studi sono in alcuni casi controversi, le evidenze suggeriscono che negli anziani le condizioni dual-task, che prevedono di dividere l'attenzione tra più compiti, portano a una maggiore instabilità posturale rispetto ai giovani.

Le diversità degli effetti riscontrati potrebbero risiedere sia nel tipo di compito secondario utilizzato, ma anche, come ha segnalato di recente Huxold (2006), dalla complessità del compito stesso. Nel suo studio, infatti, l'autore ha dimostrato l'esistenza di una relazione ad "U" ("U-shaped" relation) tra l'efficacia del controllo posturale e la concorrente domanda cognitiva richiesta nell'esecuzione di compiti contemporanei. Secondo tale relazione, quando il compito secondario è troppo complesso, nei soggetti anziani si verifica una competizione delle risorse attentive, tale per cui l'esecuzione del compito secondario entra in conflitto con il controllo posturale, a scapito di quest'ultimo, causando un incremento delle oscillazioni del corpo. Al contrario, tale fenomeno non è osservabile nei giovani (Huxhold et al. 2006).

Capitolo 4

DISEGNO SPERIMENTALE

INTRODUZIONE E OBIETTIVI

L'analisi biomeccanica riveste una notevole importanza nella valutazione dell'equilibrio; infatti, in accordo con il modello del “pendolo invertito” di Winter (Winter et al. 1998), la misurazione delle oscillazioni del Centro di Pressione (CoP), durante il mantenimento della posizione ortostatica, è una delle variabili più utilizzate come indice della performance della capacità di equilibrio, nella quale si riversano anche i sistemi sensoriale e cognitivo. Il CoP rappresenta la proiezione al suolo della forza esercitata dal CoM (Centro di Massa – baricentro) del corpo in esame, nel nostro caso del partecipante. Inoltre, è stato dimostrato che le valutazioni del CoP ottenute mediante pedane di forza sono predittive di un potenziale rischio di caduta nella popolazione anziana (Piirtola & Era, 2006).

È noto che il controllo dell'equilibrio richiede attenzione (vedi Woollacott & Shumway-Cook, 2002 per una review), così come è altrettanto noto che l'equilibrio è influenzato dalla concomitante esecuzione di un compito secondario, considerato che questo compete con le risorse attentive. Per questo motivo uno dei metodi per la valutazione del sistema di controllo posturale prevede di eseguire, insieme al primario compito di mantenere l'equilibrio, la concomitante esecuzione di un compito secondario (dual-task). Il paradigma “dual-task” in genere prevede l'esecuzione di un compito cognitivo (Shumway-Cook et al. 1997; Andersson et al. 2002; Redfern et al. 2001; Teasdale & Simoneau, 2001; Melzer et al. 2001), anche se durante le attività della vita quotidiana (ADLs), spesso i compiti secondari sono di natura motoria (Kilbreath & Heard, 2005).

A nostra conoscenza, finora solo due studi hanno esaminato gli effetti sull'equilibrio di un compito secondario motorio, ma i risultati sono controversi. Nello studio di Morioka (2005),

è stato richiesto al gruppo di giovani donne partecipanti di tenere in mano un vassoio con una ciotola piena d'acqua, con l'istruzione di non versare alcuna goccia d'acqua. I risultati hanno mostrato una riduzione delle escursioni del Centro di Pressione (CoP), indicando che il compito motorio è stato un fattore che ha incrementato il focus attentivo sul controllo dell'equilibrio, al fine di mantenere una base stabile per non rovesciare l'acqua.

Nell'altro studio (Weeks et al. 2003), invece, il compito motorio presente era di schiacciare tra pollice e indice un trasduttore di forza, e in tal caso i risultati hanno mostrato un incremento delle escursioni del CoP, suggerendo la competizione delle risorse attentive, in entrambi i gruppi di giovani e anziani partecipanti.

Nonostante che, durante le attività della vita quotidiana, sia frequente la combinazione di compiti multipli, l'influenza sull'equilibrio di due compiti secondari concomitanti non è ancora stata ben valutata. Infatti, finora, solo lo studio sopracitato di Weeks ha valutato come un compito "triplo" possa alterare il controllo posturale.

Quindi, se gli effetti di un compito secondario, o cognitivo o motorio, sono ancora controversi, ancor meno è risaputo circa gli effetti che l'esecuzione simultanea di un compito cognitivo e un compito motorio può comportare sull'equilibrio ortostatico.

Sulla base di queste premesse, l'obiettivo dello studio è stato quello di valutare come il compito primario di mantenere la posizione ortostatica (equilibrio), possa essere influenzato dall'esecuzione di un compito secondario di natura motoria (bilanciare un cilindro sopra un vassoio tenuto con entrambe le mani), o di natura cognitiva (eseguire il test visuo-spaziale di Brooks), o ancora eseguendo simultaneamente i due compiti secondari. Inoltre, conoscendo l'importanza dell'invecchiamento sulla capacità di controllo dell'equilibrio, si è voluto valutare gli effetti della variabile età, confrontando i risultati ottenuti nei partecipanti anziani rispetto ad un gruppo di partecipanti adulti-giovani.

Le ipotesi di lavoro possono essere così riassunte:

1. poiché i compiti visuo-spaziali eseguiti in situazioni dual-task hanno dimostrato incrementare l'interferenza con le capacità attentive e con il controllo dell'equilibrio (Kerr et al. 1985; Maylor & Wing, 1996), ci si aspetta che il compito cognitivo comporti un peggioramento dell'equilibrio rispetto alla condizione ortostatica di base;
2. poiché una base di appoggio stabile è necessaria per eseguire correttamente il compito secondario motorio, ci si aspetta che in questa condizione l'equilibrio migliori, e quindi le oscillazioni posturali si riducano, rispetto alla condizione ortostatica di base;
3. dato che l'invecchiamento determina modificazioni fisiologiche nei sistemi di controllo dell'equilibrio, il risultato atteso è che in tutte le condizioni i partecipanti anziani mostrino un controllo dell'equilibrio peggiore rispetto ai giovani;
4. pur non ipotizzando in quale direzione (peggiorativa o migliorativa), ci si aspetta che l'esecuzione concomitante dei due compiti secondari comporti degli effetti maggiori, rispetto all'esecuzione di un singolo compito motorio. Inoltre, gli effetti sugli anziani dovrebbero essere più marcati rispetto a ciò che ci si aspetta su giovani.

MATERIALI E METODI

4.1 Soggetti

Allo studio hanno preso parte 2 gruppi, entrambi misti (maschi e femmine) di partecipanti: il gruppo “Giovani” e il gruppo “Anziani”. Inizialmente sono stati reclutati e valutati 26 giovani e 18 anziani, per i quali però, per ragioni tecniche, non per tutti è stato possibile ottenere dati completi. Alla fine quindi, sono stati considerati 17 partecipanti nel gruppo “Giovani” e 15 nel gruppo “Anziani”. Le caratteristiche dei due gruppi sono rappresentate in tabella 1.

	Giovani	Anziani
<i>N°</i>	17	15
<i>Età</i>	31.8±8.9	65.6±2.9
<i>Statura</i>	171.9±7.8	167.2±9.9
<i>Peso</i>	72.7±14.0	71.5±16.7
<i>MMSE</i>	29.8±0.4	28.8±1.1

Tabella 1. Caratteristiche dei gruppi partecipanti. MMSE (Mini Mental State Examination; Folstein et al. 1975). I dati sono espressi come media±DS.

Il reclutamento dei partecipanti “Giovani” è stato svolto attraverso inserzione pubblicitaria, contatto tramite e-mail e contatto diretto, tra studenti e dipendenti della “School of Sport and Exercise Sciences” della Liverpool John Moores University (LJMU) (Liverpool – UK).

Il reclutamento degli “Anziani”, invece, è stato svolto telefonicamente, dopo aver contatto e chiesto la collaborazione a diverse associazioni ricreative e culturali di anziani del Comune di Padova.

Tutti i partecipanti hanno volontariamente aderito allo studio e sottoscritto il consenso informato. Ogni soggetto è stato istruito sul protocollo, e prima della prova di laboratorio ha compilato un questionario di valutazione anamnestica e dello stile di vita, è stato sottoposto alla valutazione della capacità cognitiva attraverso il Mini Mental State Examination (MMSE; Folstein et al. 1975) e ha inoltre eseguito alcune prove di familiarizzazione ai test.

Il questionario anamnestico e il MMSE servivano ad escludere eventuali partecipanti che presentassero condizioni tali da impedire, limitare o alterare l’esecuzione del test, come per esempio patologie o disordini neurologici o muscolo scheletrici, o importanti deficit cognitivi.

4.2 Protocollo di valutazione biomeccanica: valutazione cinetica dell’equilibrio ortostatico e cinematica del compito motorio.

Le valutazioni sono state eseguite in momenti e laboratori diversi per i due i due gruppi. Il gruppo “Giovani” è stato valutato per primo, al fine di ottenere un gruppo di riferimento, presso il laboratorio di biomeccanica del “Research Institute for Sport and Exercise Sciences (RISES)” della LJMU.

Il gruppo “Anziani” è stato valutato secondariamente, presso il laboratorio di biomeccanica, dell’Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Meccanica.

4.2.1 Valutazione cinetica

Il protocollo prevedeva che il soggetto fosse in piedi sopra una pedana di forza e tale condizione rappresentava il compito primario di mantenimento dell'equilibrio ortostatico. A questo sono stati associati diversi compiti secondari: uno cognitivo, uno motorio ed entrambi eseguiti contemporaneamente. Il compito di tipo cognitivo consisteva nell'esecuzione del test visuo-spaziale di Brooks (Brooks, 1967); il compito secondario di origine motoria consisteva nel mantenere bilanciato un cilindro posto sopra un vassoio, che il soggetto teneva con entrambe le mani.

L'equilibrio ortostatico era mantenuto per 30".

Test cognitivo

Il test di Brooks è un test cognitivo, visuo-spaziale. Il partecipante deve immaginare una griglia di 4x4 quadrati. In questa griglia c'è un numero 1 posizionato sempre nello stesso quadrato (seconda riga, seconda colonna).

		3	4
	1	2	5
		7	6
		8	

Figura 4.2.1. Esempio del compito cognitivo

La prova consiste nel ricevere verbalmente le istruzioni per posizionare i numeri successivi all'uno e fino all'otto, uno dietro all'altro, in quadrati vicini, del tipo:

“Nel quadrato iniziale metta un 1; nel successivo quadrato a destra metta un 2; nel successivo quadrato in alto metta un 3...” e così via fino al numero 8.

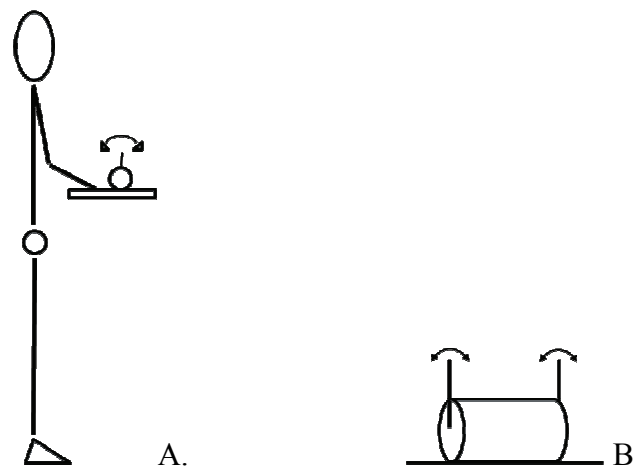
Il partecipante deve memorizzare la posizione dei numeri e, alla fine della prova, deve ripetere il percorso a voce alta. Ogni prova contiene una sequenza di posizioni di numeri diversa dall'altra (Fig. 4.2.1).

Compito motorio

Il partecipante riceve un vassoio e un cilindro che nel corso della prova deve mantenere in equilibrio il più a lungo possibile. Il cilindro è dotato di due bacchette posizionate alle estremità dello stesso; quando queste risultano verticali il cilindro è in posizione di equilibrio. Durante tutto l'arco della prova, in caso di rotolamento in avanti o indietro del cilindro, il partecipante deve provare a riportare le bacchette in posizione verticale (Fig. 4.2.2).

Il vassoio è stato realizzato in cartoncino pesante, di spessore 1.4 mm e dimensioni 414 x 290 mm. Il bordo attorno al vassoio è di 25 mm (Fig. 4.2.5).

Il cilindro è stato ricavato da un tubo postale, con spessore di 1.3 mm, lunghezza di 150 mm e diametro esterno di 78.5 mm (Fig. 4.2.5).



*Figura 4.2.2. Compito motorio:
A) Partecipante in piedi con vassoio e cilindro in mano; B) rappresentazione del cilindro.*

4.2.2 Valutazione cinematica

Attraverso un'analisi di tipo cinematico è stato possibile valutare la performance del compito motorio, cioè la misura di quanto il cilindro rimane bilanciato sopra il vassoio. Per tale valutazione sono stati impiegati due sistemi di visione optoelettronici, diversi nei due laboratori della LJMU e dell'Università degli Studi di Padova: sistema stereo fotogrammetrico VICON con 8 telecamere (Vicon 612 system; Metrics, Oxford, England), per il primo; sistema di motion capture SMART-E, con 6 telecamere (BTS S.r.l - Padova), per il secondo.

I sistemi optoelettronici per l'analisi del movimento, sono composti da un certo numero di telecamere (minimo due) e sono in grado, attraverso algoritmi matematici e procedure di stereofotogrammetria, di combinare le immagini bidimensionali provenienti da ciascuna telecamera, elaborando un'informazione tridimensionale (Fig. 4.2.3).

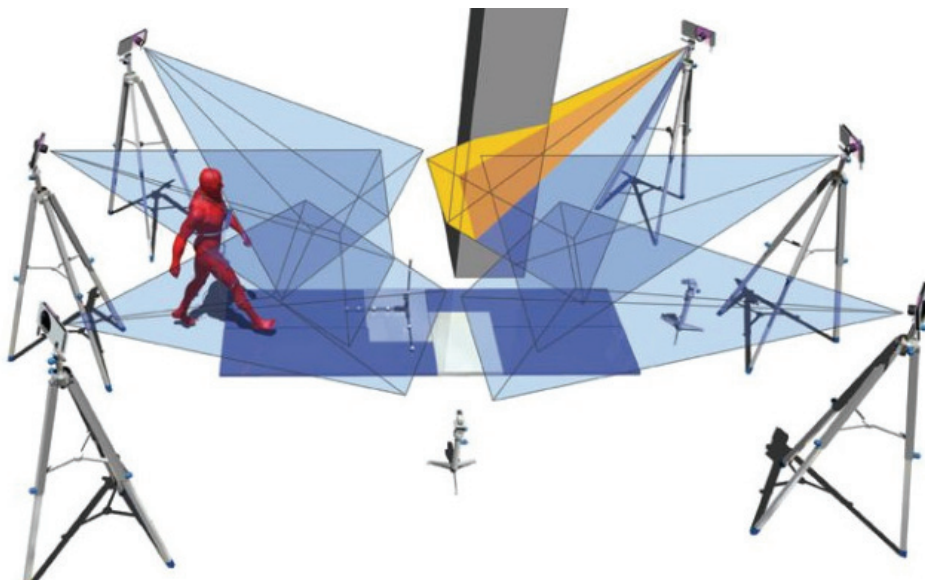


Figura 4.2.3. Funzionamento dei sistemi optoelettronici.

Ogni telecamera registra un'immagine bidimensionale dei marker riflettenti presenti sulla scena. Per i marker che vengono visti contemporaneamente da almeno due telecamere è possibile ricostruire l'immagine tridimensionale.

Generalmente, nell'ambito dell'analisi del movimento, il sistema viene utilizzato per misurare le coordinate tridimensionali di marker apposti sul corpo di un soggetto in relazione a particolari punti di repere anatomici. Note le coordinate tridimensionali dei marker è possibile quindi calcolare le traiettorie, le grandezze angolari, le velocità e le accelerazioni, cioè conoscere in dettaglio la cinematica del movimento del segmento corporeo sul quale sono stati posizionati i marker.

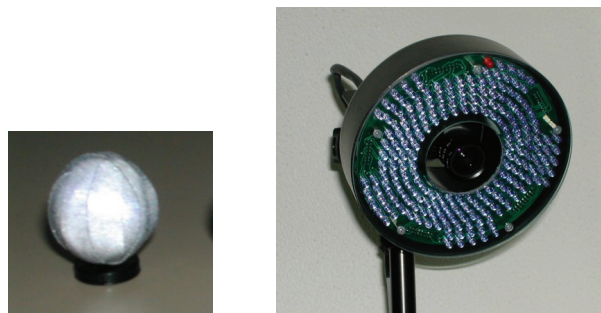


Figura 4.2.4. Marker e telecamera a infrarossi.

Nel nostro caso, i marker sono stati apposti sul vassoio, due anteriormente (sul bordo esterno) e uno posteriormente (sul bordo interno) e tre sul lato sinistro del cilindro, in modo da ricostruire l'angolo di movimento del cilindro libero di rotolare sul piano costituito dal vassoio (Fig. 4.2.5). Secondo il tipo di studio che si vuole effettuare si usano marker di dimensione differente, quelli che noi abbiamo utilizzato avevano un diametro di 15 mm (Fig.4.2.4).



Figura 4.2.5. Vassoio e cilindro utilizzati per il compito secondario motorio.

Le telecamere hanno un illuminatore e sono dotate di un sensore CCD sensibile alla radiazione luminosa infrarossa e acquisiscono le immagini ad una frequenza di 60 Hz, cioè ad una velocità di 60 campioni al secondo. Inoltre, entrambi i sistemi (Vicon e BTS) sono integrati con una pedana di forza (Kistler, a sensori piezoelettrici, per il primo; Bertec, a sensori strain gage, per il secondo), la quale attraverso dei trasduttori, misura le forze di reazione al suolo esercitate dal peso corporeo. Il segnale di forza viene poi amplificato, convertito da analogico a digitale e scomposto nelle componenti della forza verticale, antero/posteriore e medio/laterale. La frequenza di campionamento della pedane Kistler è di 1000 Hz, quella della pedana Bertec di 960 Hz.

Il punto di applicazione della risultante 2D del vettore di forza è stato calcolato come Centro di Pressione (CoP), il quale rappresenta l'indice dell'equilibrio ortostatico, utilizzato in questo studio.

Il sistema di telecamere non basandosi su una struttura fissa necessita ad ogni utilizzo di una fase di calibrazione, in cui si determinano i valori dei parametri intrinseci ed estrinseci delle

telecamere componenti il sistema stesso. Tali parametri sono l'anello di congiunzione tra il mondo oggetto, il mondo della telecamera e il mondo immagine.

4.3 Descrizione prove

Al fine di valutare la performance nei singoli compiti, il partecipante ha eseguito diverse prove, in condizioni diverse:

1. Vassoio: il partecipante doveva rimanere con il vassoio in mano senza mantenere in equilibrio il cilindro o eseguire il test cognitivo.
2. Brooks: il partecipante, senza bilanciare il cilindro, doveva ascoltare e memorizzare la sequenza dei numeri pronunciati da una voce registrata. Finita la prova doveva ripetere la sequenza di numeri in ordine spaziale.
3. Cilindro: il partecipante doveva tenere bilanciato il cilindro, posto sopra il vassoio.
4. Cilindro+Brooks: il partecipante doveva memorizzare la sequenza dei numeri e, contemporaneamente, tenere bilanciato il cilindro; alla fine della prova doveva ripetere la sequenza di numeri.

Le stesse 4 condizioni sono state eseguite anche in posizione seduta, al fine di ottenere un valore di performance di base, da confrontare poi con le prove eseguite in posizione ortostatica (Fig. 4.2.6).

Le prove venivano eseguite una di seguito all'altra, in modo randomizzato; ogni prova aveva una durata di 30'' ed era ripetuta tre volte consecutivamente. L'intera valutazione aveva una durata di circa un'ora.

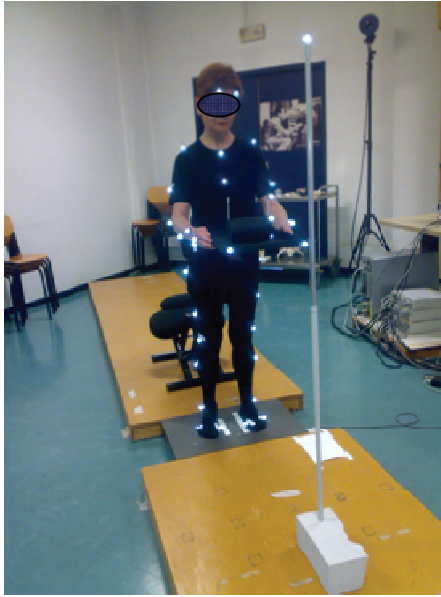


Figura 4.2.6. Esecuzione del test, in piedi e seduto.

4.4 Variabili Misurate

Le variabili considerate sono state le seguenti:

- Equilibrio ortostatico: è stata considerata la deviazione standard (DS) delle oscillazioni di ciascun partecipante rispetto al punto centrale del CoP, sia sul piano sagittale (A/P), sia su quello frontale (M/L).
- Compito secondario cognitivo: la performance del compito secondario cognitivo (test di Brooks) è stata valutata come proporzione tra le risposte esatte fornite al momento della riproduzione verbale e il numero totale delle risposte possibili.
- Compito secondario motorio: la performance del compito secondario motorio (Cilindro) è stata valutata come:
 - ampiezza della deviazione standard rispetto al valore medio dell'angolo del cilindro, in movimento sul piano di appoggio (base del vassoio);
 - perdita di controllo del cilindro, cioè la durata del tempo di appoggio del cilindro sul vassoio.

4.5 Analisi statistica

L'analisi statistica è stata realizzata usando il software SPSS 16.0 per Windows (Statistical Package for the Social Sciences).

Considerata la limitata numerosità di partecipanti nei gruppi e comunque dopo aver appurato che per la maggior parte dei dati la distribuzione era non normale, per l'analisi statistica ci si è avvalsi di test non parametrici. Il test di Friedman è stato utilizzato per confrontare eventuali differenze tra le distribuzioni nelle 4 diverse condizioni, all'interno di ogni singolo gruppo. Verificata la presenza di differenze significative è stato quindi utilizzato il test di Wilcoxon per due campioni appaiati, per determinare esattamente quale condizione presentasse differenze significative rispetto ad un'altra.

Per verificare invece le differenze tra i due gruppi di partecipanti è stato utilizzato il test di Mann-Whitney per campioni indipendenti.

Infine, eventuali relazioni tra i diversi compiti e il mantenimento dell'equilibrio sono state valutate attraverso il test di correlazione di Kendall.

Il livello minimo di significatività è stato posto $p < 0.05$.

RISULTATI

I risultati sono presentati come confronto, all'interno del singolo gruppo e tra gruppi, tra le quattro diverse condizioni di test a cui i partecipanti sono stati sottoposti:

1. di base: "In piedi";
2. esecuzione del solo compito secondario cognitivo: "Brooks";
3. esecuzione del solo compito secondario motorio: "Cilindro";
4. esecuzione dei due compiti secondari combinati: "Cilindro+Brooks".

Le variabili considerate sono:

- l'equilibrio ortostatico, rappresentato dalla deviazione standard (DS) delle oscillazioni di ciascun partecipante rispetto al punto centrale del CoP, sia sul piano sagittale (A/P), sia su quello frontale (M/L);
- la performance del compito secondario cognitivo (test di Brooks), sia dalla posizione seduta che in piedi, misurata come proporzione tra le risposte esatte fornite al momento della riproduzione verbale e il numero totale delle risposte possibili;
- la performance del compito secondario motorio (Cilindro), sia dalla posizione seduta che in piedi, misurata come:
 - a) ampiezza della deviazione standard rispetto al valore medio dell'angolo del cilindro in movimento sul piano di appoggio (base del vassoio);
 - b) perdita di controllo del cilindro, cioè la durata del tempo di appoggio del cilindro sul vassoio.

Infine, sono mostrate le correlazioni esistenti tra l'equilibrio ortostatico e le performance dei compiti secondari.

Gruppo Giovani

Equilibrio ortostatico: DS del CoP

Sull'asse antero/posteriore non sono state riscontrate differenze significative tra le diverse condizioni. Tuttavia, in termini percentuali, l'esecuzione del compito secondario motorio ha ridotto le escursioni del CoP del 6.5% rispetto alla condizione di base, abbassando i valori medi da 3.61 a 3.37 (Grafico 1).

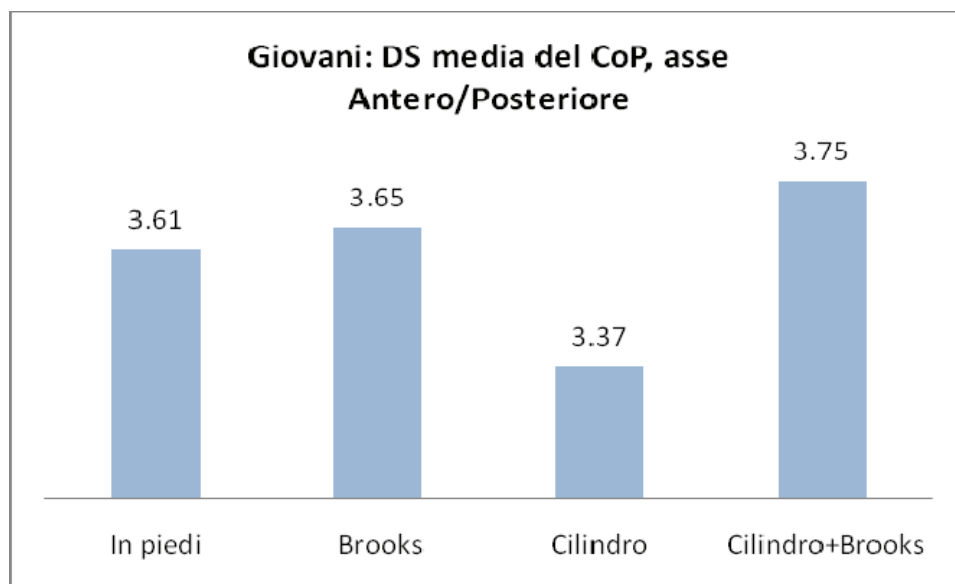


Grafico 1. Media delle DS del CoP (mm) sull'asse antero/posteriore nel gruppo giovani.

Al contrario nelle oscillazioni medio/laterali del CoP si sono verificate le significatività illustrate nel grafico 2. L'esecuzione del compito secondario motorio diminuisce in modo significativo ($p < 0.05$) la DS del CoP che passa da 1.40 mm in "In piedi" e 1.47 mm in "Brooks", a 0.99 mm in "Cilindro", con delle differenze percentuali del -28.9% e -48.3%, rispettivamente.

Anche l'esecuzione del compito "doppio" (Cilindro+Brooks) diminuisce in maniera significativa ($p < 0.05$) la DS del CoP, passando da 1.40 mm per "In piedi" e 1.47 mm per "Brooks" a 1.17 mm, con delle variazioni percentuali di -16.1% e -25.6%, rispettivamente.

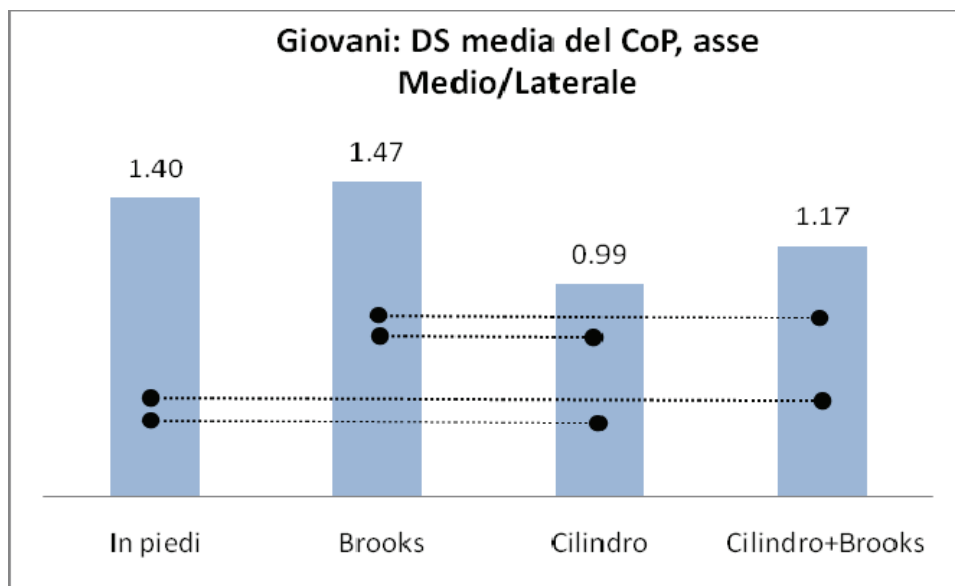


Grafico 2. Media delle DS del CoP (mm) sull'asse medio/laterale nel gruppo giovani. Le linee che collegano le barre indicano differenze significative; $p < 0.05$.

Compiti secondari cognitivo e motorio

L'analisi statistica non ha evidenziato differenze significative all'interno del gruppo legate alla diversa posizione di esecuzione dei compiti. La posizione seduta o in piedi non ha influenzato né l'esecuzione dei compiti eseguiti singolarmente, né eseguiti simultaneamente. I risultati ottenuti nel compito cognitivo sono illustrati nel grafico 3, mentre quelli del compito motorio nel grafico 4.

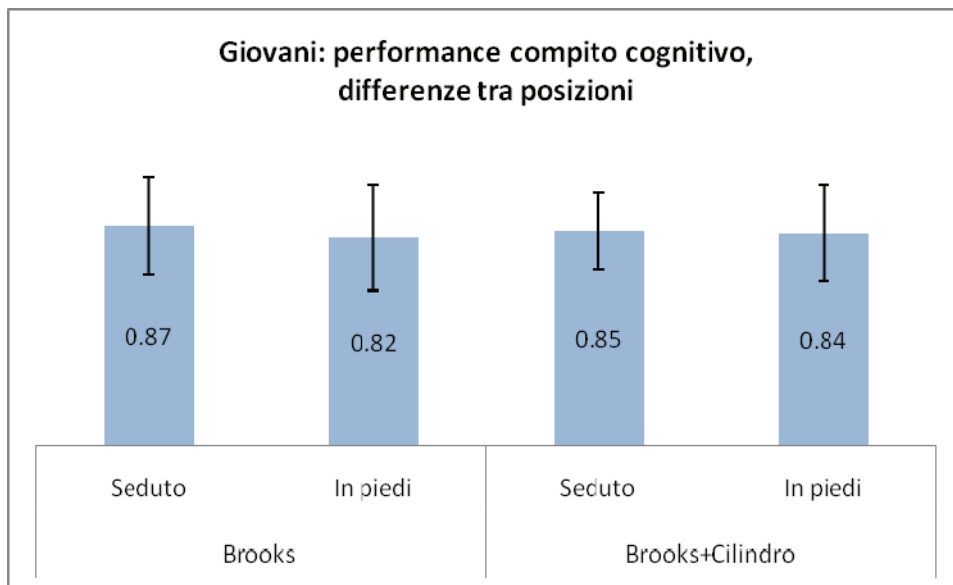


Grafico 3. Performance al test di Brooks nelle due posizioni seduto e in piedi. Risultati espressi come media del rapporto tra risposte corrette e risposte totali.

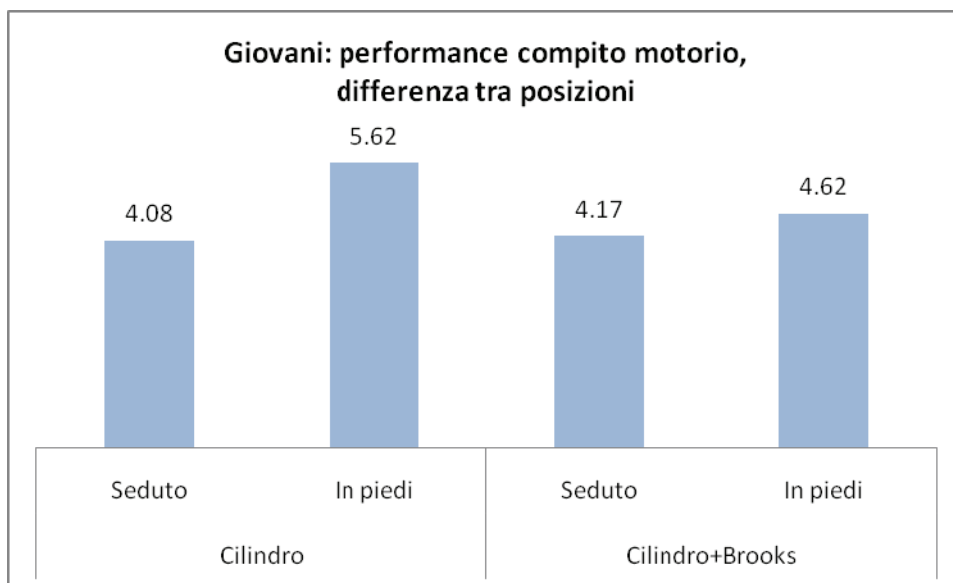


Grafico 4. Performance del compito secondario motorio nelle due posizioni seduta e in piedi. Risultati espressi come media delle DS dell'angolo di movimento del cilindro sul vassoio.

Gruppo Anziani

L'analisi statistica non ha mostrato la presenza di significatività nella DS del CoP. Tuttavia tra le condizioni si sono verificate delle differenze abbastanza elevate.

Il compito cognitivo ha aumentato la DS del CoP rispetto alla condizione di base non solo sul piano sagittale (da 6.01 mm in "In Piedi" a 7.21 mm in "Brooks", con una variazione del +20%) (Grafico 5), ma anche sull'asse medio/laterale, in cui la DS del CoP è aumentata a 3.03 mm rispetto al valore di base di 2.63 mm, con una variazione percentuale del +15%. Inoltre, anche l'esecuzione del compito doppio "Cilindro+Brooks" ha aumentato la DS del CoP rispetto al basale, passando a 3.40 mm, con una variazione del +29.2% (Grafico 6).

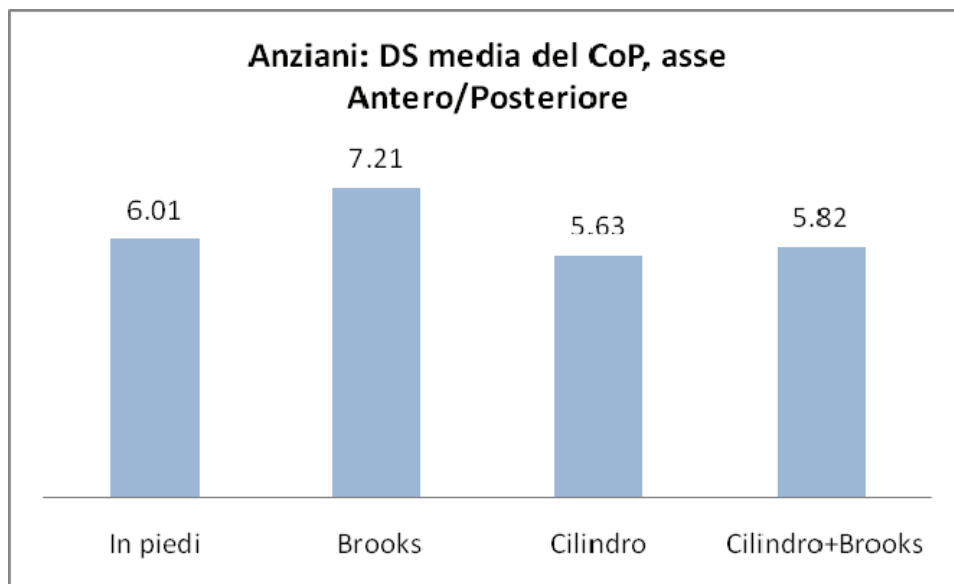


Grafico 5. Media delle DS del CoP (mm) sull'asse antero/posteriore nel gruppo anziani.

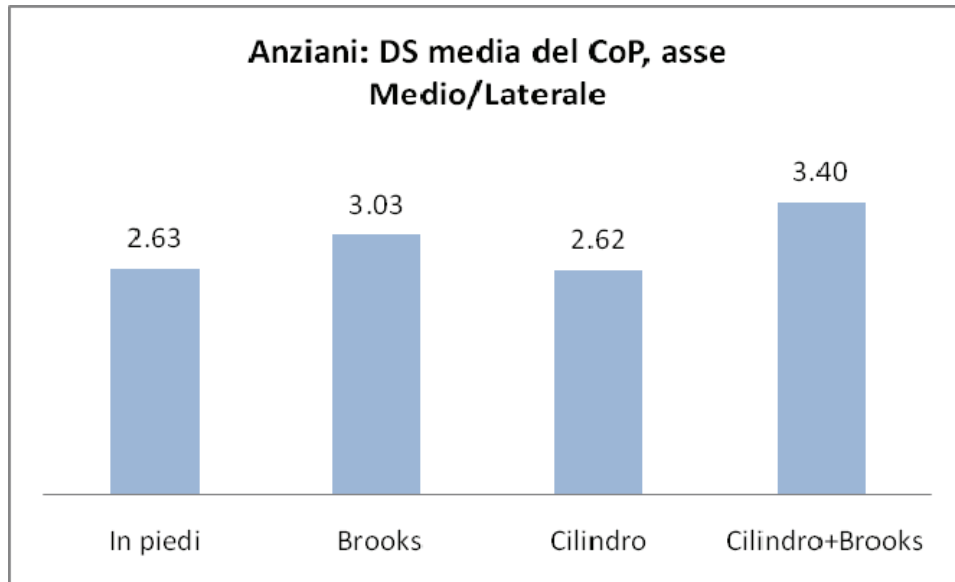


Grafico 6. Media delle DS del CoP (mm) sull'asse medio/laterale nel gruppo anziani.

Compiti secondari cognitivo e motorio

L'analisi statistica non ha evidenziato differenze significative all'interno del gruppo legate alla diversa posizione di esecuzione dei compiti. La posizione seduta o in piedi non ha influenzato né l'esecuzione dei compiti eseguiti singolarmente, né eseguiti simultaneamente. I risultati ottenuti nel compito cognitivo sono illustrati nel grafico 7, mentre quelli del compito motorio nel grafico 8.

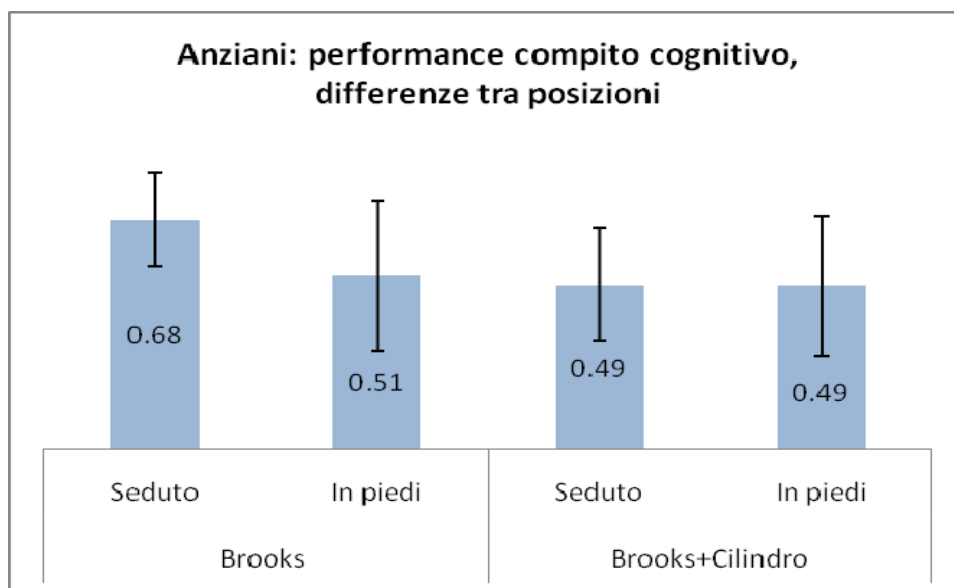


Grafico 7. Performance al test di Brooks nelle due posizioni seduto e in piedi. Risultati espressi come media del rapporto tra risposte corrette e risposte totali.

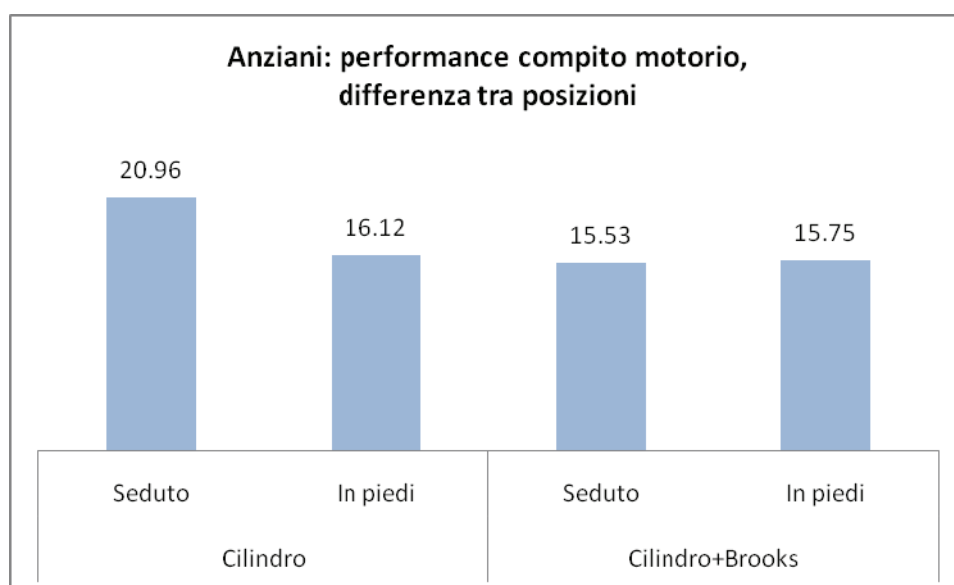


Grafico 8. Performance del compito secondario motorio nelle due posizioni seduta e in piedi. Risultati espressi come media delle DS dell'angolo di movimento del cilindro sul vassoio.

Differenze tra Giovani-Anziani

L'analisi statistica ha confermato l'ipotesi che gli anziani abbiano un peggior controllo dell'equilibrio rispetto ai giovani evidenziando, tra i due gruppi, differenze significative ($p < 0.05$) in tutte le condizioni e in entrambi gli assi di oscillazione, come illustrato nei grafici 9 e 10.

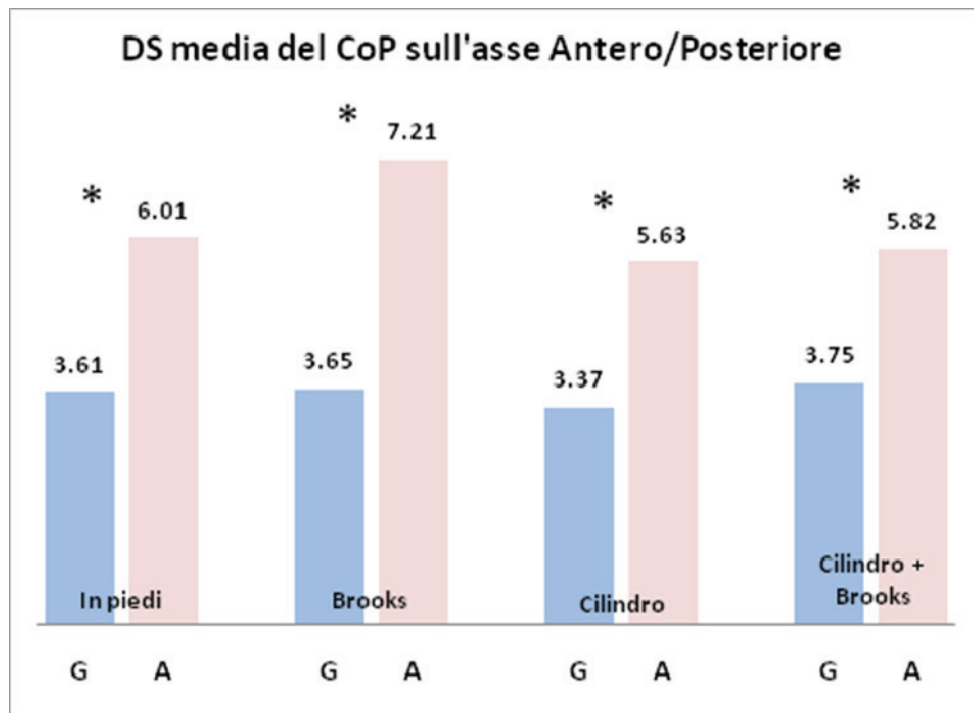


Grafico 9. Differenze tra le DS del CoP (mm) dei due gruppi Giovani (G) e Anziani (A), sull'asse antero/posteriore; * $p < 0.05$

Sull'asse antero/posteriore, nella condizione di base, "In piedi" i giovani hanno un rango medio di 11.53, gli anziani di 22.13; nella condizione "Brooks" i giovani hanno un rango medio di 12.29, gli anziani di 21.27; in "Cilindro" il rango dei giovani è di 10.74, quello degli

anziani di 23.03; infine, nella condizione “Cilindro+Brooks” i ranghi di giovani e anziani sono rispettivamente di 12.12 e 20.13.

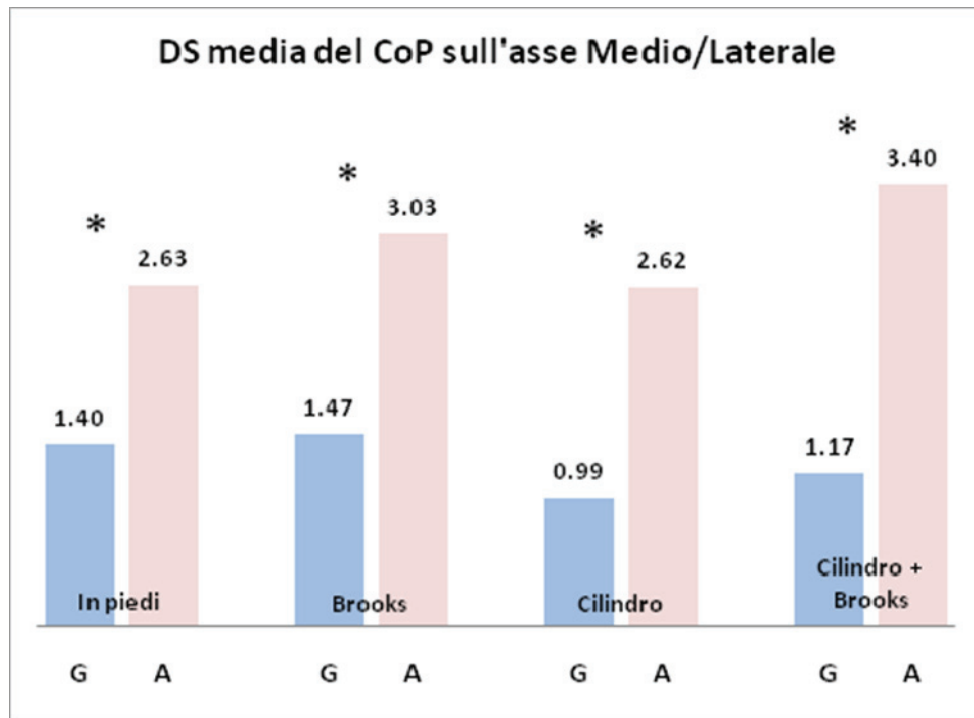


Grafico 10. Differenze tra le DS del CoP (mm) dei due gruppi Giovani (G) e Anziani (A), sull'asse medio/laterale; * $p < 0.05$.

Sull'asse medio/laterale nella condizione “In piedi” i giovani hanno un rango medio di 10.41, gli anziani di 23.4; nella condizione “Brooks” il rango dei giovani è 11.24 quello degli anziani 22.47; in “Cilindro” i ranghi sono 9.29 per i giovani e 24.67 per gli anziani; infine in “Cilindro+Brooks” sono di 9.47 e 22.97 per giovani e anziani rispettivamente.

Compito secondari cognitivo e motorio

L'analisi statistica ha confermato l'ipotesi che gli anziani ottengano una performance inferiore rispetto ai giovani nell'esecuzione dei due compiti secondari.

Come illustrato nel grafico 11, in entrambe le posizioni da seduto e in piedi, sia nell'esecuzione del singolo compito (Brooks), sia eseguendo il test cognitivo combinato con il compito motorio (Brooks+Cilindro), gli anziani hanno dimostrato una performance significativamente peggiore rispetto a quella dei giovani ($p < 0.05$).

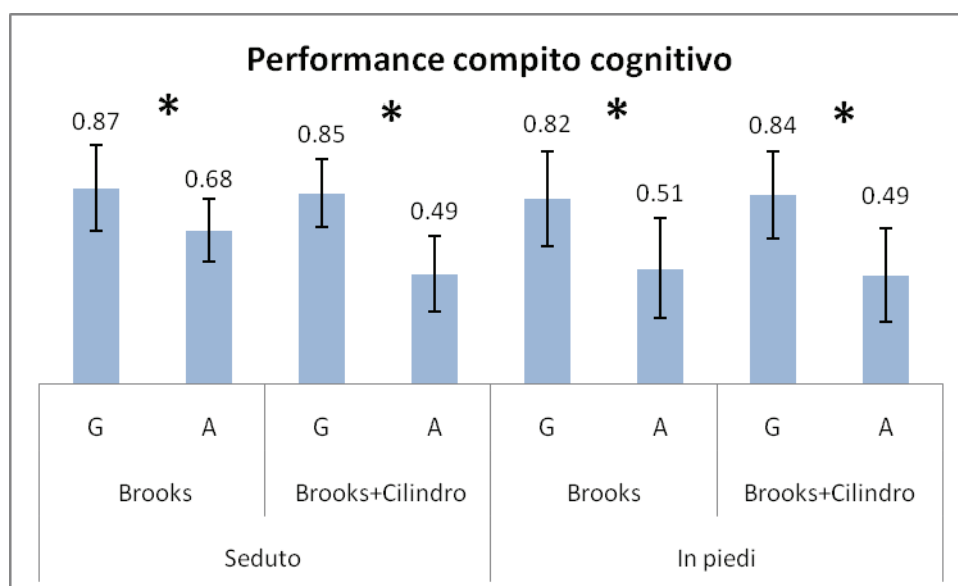
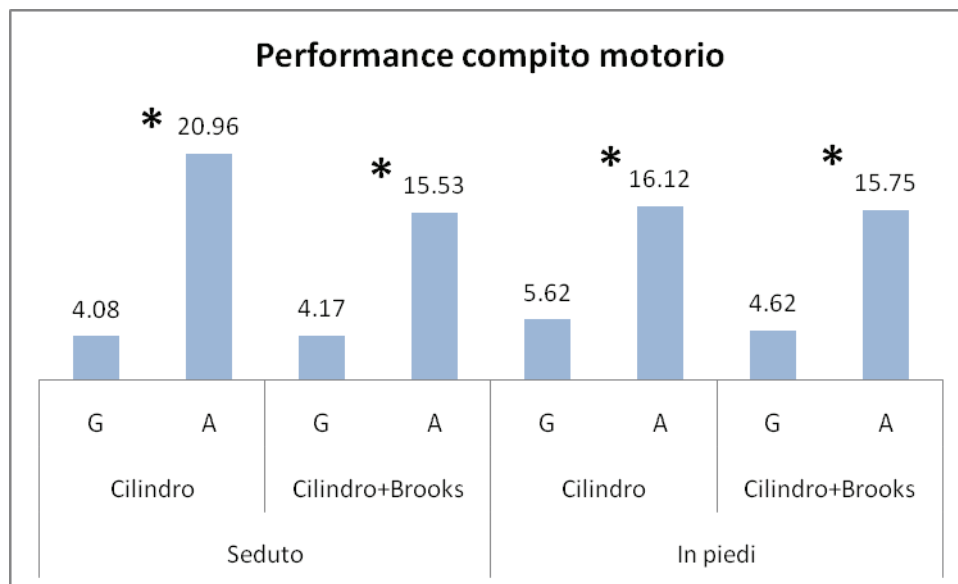


Grafico 11. Performance del compito cognitivo (test di Brooks) eseguito singolarmente (Brooks) e contemporaneamente al compito motorio (Brooks+Cilindro), in posizione seduta e in piedi, per giovani (G) e anziani (A). I valori sopra le barre rappresentano la media di ciascun gruppo del rapporto tra il numero di risposte esatte e il numero delle risposte totali; * $p < 0.05$.

Infatti, nella posizione seduta, il rango medio ottenuto dai giovani in “Brooks” è stato di 21.38, dagli anziani 10.97; mentre nella prova combinata “Brooks+Cilindro” è stato di 22.88 per i primi e di 9.27 per i secondi. Nella posizione in piedi, invece, i giovani in “Brooks”

hanno ottenuto un rango medio di 21.53 e gli anziani di 10.8; in “Brooks+Cilindro” i ranghi sono stati di 22.38 e 9.83, rispettivamente per giovani e anziani.

In merito al compito motorio, i risultati mostrano allo stesso modo che gli anziani presentano una difficoltà significativamente maggiore (maggior DS) nel controllare i movimenti del cilindro in entrambe le condizioni da seduto e in piedi, sia quando il compito è eseguito da solo (Cilindro), sia quando è eseguito contemporaneamente al test di Brooks (Cilindro+Brooks), come illustrato nel grafico 12.



*Grafico 12. Performance del compito motorio eseguito singolarmente (Cilindro) e contemporaneamente al compito cognitivo (Cilindro+Brooks), in posizione seduta e in piedi, per giovani (G) e anziani (A). I valori rappresentano la DS (in gradi) dell'angolo di movimento del cilindro sopra la base di appoggio; * $p < 0.05$.*

Infatti, nell'esecuzione del compito da seduti, i giovani hanno ottenuto un rango medio di 12.62 nella prova singola (Cilindro) e 12.12 nella prova combinata (Cilindro+Brooks); gli anziani di 20.9 e 21.47, rispettivamente.

Da in piedi, il rango nella prova singola per i giovani è stato di 11.82, per gli anziani di 21.8, mentre nella prova combinata è stato per i giovani di 12.32 e per gli anziani di 21.23.

Per quanto riguarda il compito motorio si è anche calcolato per quanto tempo il cilindro è rimasto appoggiato alla base di appoggio (vassoio) durante l'esecuzione delle prove.

Mentre tutti i partecipanti giovani, in tutte le prove e condizioni, sono riusciti a mantenere bilanciato il cilindro per l'intera durata delle prove (tempo di appoggio 0), i partecipanti anziani hanno lasciato il cilindro fermo sul piano del vassoio per alcuni secondi, come mostrato in tabella 1.

	Seduto		In piedi	
	Cilindro	Cilindro+Brooks	Cilindro	Cilindro+Brooks
Giovani	0	0	0	0
Anziani	2.9	3.5	1.7	4.6

Tabella 1. Tempo (secondi) di appoggio a terra del cilindro nel corso delle prove, per giovani e anziani.

Studio delle correlazioni

Come ulteriore analisi, per valutare la presenza o meno di relazioni tra l'esecuzione di un compito secondario e la capacità di controllare l'equilibrio, sono state effettuate delle correlazioni di Kendall.

Sia per i giovani che per gli anziani, i risultati hanno evidenziato la presenza di correlazioni positive tra il compito secondario motorio e il CoP su entrambi i piani (sagittale e frontale),

mentre, all'opposto, le correlazioni con il compito secondario cognitivo si sono mostrate negative. Tuttavia, le uniche correlazioni statisticamente significative ($p < 0.05$) si sono ottenute, per i giovani, tra il CoP e il "Cilindro", sul piano sagittale ($\tau = 0.347$; $p = 0.05$) e sul piano frontale ($\tau = 0.376$; $p = 0.04$); per gli anziani, tra il CoP e la DS dell'angolo del cilindro nel compito secondario doppio (Cilindro+Brooks), sul piano sagittale ($\tau = 0.391$; $p = 0.03$) e sul piano frontale ($\tau = 0.421$; $p = 0.02$).

DISCUSSIONE

L'obiettivo principale dello studio era quello di valutare come il compito primario di mantenere l'equilibrio (in posizione ortostatica) possa essere influenzato dall'esecuzione di un compito secondario, sia esso di natura motoria che cognitiva, o dall'esecuzione dei due compiti simultaneamente. Inoltre, poiché il fisiologico processo di invecchiamento notoriamente altera la capacità di controllo dell'equilibrio, le valutazioni sono state effettuate e confrontate in due gruppi di soggetti, giovani e anziani.

Come riportato nei materiali e metodi, il compito motorio scelto consisteva nel bilanciare (tenere in equilibrio) un cilindro posto sopra un vassoio, retto con entrambe le mani dal partecipante. Questo tipo di azione è stata scelta perché si riteneva potesse simulare una abituale attività della vita quotidiana, facilmente riproducibile e che non richiede capacità motorie particolari. Il vassoio e il cilindro erano di materiale leggero per il duplice motivo di ridurre al minimo gli input sensoriali alle afferenze propriocettive e per evitare la comparsa di affaticamento muscolare, tenuto conto della durata piuttosto lunga della sessione di valutazione (circa un'ora).

Per quanto riguarda il compito cognitivo, si è scelto di effettuare il test visuo-spaziale di Brooks sia perché è una prova di tipo continuativo (pari alla durata delle altre due prove, mantenimento dell'equilibrio e compito motorio, e quindi paragonabile a queste per tipologia), sia perché è un test del quale è possibile valutare la performance, ottenendo uno score, che può essere, quindi, confrontabile con i parametri ottenuti dalla valutazione dell'equilibrio e del compito motorio; sia, infine, perché prevede che il soggetto non debba

articolare (pronunciare ad alta voce) alcuna parola nel corso della prova, azione che potrebbe alterare l'equilibrio posturale (Yardley et al. 1999).

Sulla base di questo protocollo abbiamo innanzitutto valutato il compito primario di mantenere l'equilibrio. In questo caso la variabile misurata è stata la deviazione standard (DS) delle oscillazioni di ciascun partecipante rispetto al proprio punto centrale del centro pressione (CoP) (cioè della proiezione al suolo della forza esercitata dal baricentro corporeo), sia sul piano sagittale (antero/posteriore), che su quello frontale (medio/laterale).

Poiché la deviazione standard è una misura della dispersione dei dati intorno ad un valore medio, nei nostri risultati tanto essa è maggiore, tanto più ampie sono le oscillazioni rispetto al valore centrale del CoP. Quindi, più la deviazione standard di un partecipante è elevata, più il rischio per lui di uscire dalla base di appoggio, e quindi di cadere, aumenta.

Inoltre, l'utilizzo della deviazione standard come variabile di studio è legata all'esigenza di rendere maggiormente confrontabili i dati rilevati tra i diversi partecipanti. È verosimile, infatti, che ogni partecipante abbia un proprio punto di partenza, un CoP centrale di base, diverso da quello di tutti gli altri; dato che il calcolo della deviazione standard considera lo scostamento di ciascuna misura rispetto al proprio valore medio di partenza, è stato possibile ridurre l'inevitabile disomogeneità che si sarebbe potuta riscontrare tra i partecipanti.

La prima osservazione sui risultati del CoP è che gli anziani hanno mostrato avere una capacità di equilibrio minore rispetto ai giovani in tutte le condizioni ("In piedi", "Brooks", "Cilindro", "Cilindro+Brooks"). Questo risultato può considerarsi scontato, ma era indispensabile verificare tale ipotesi per poi proseguire nell'analisi più dettagliata in merito a quale compito secondario potesse influenzare maggiormente l'equilibrio nei due gruppi.

Inoltre, in entrambi i gruppi, si è osservato che in tutte le condizioni i valori di DS del CoP sull'asse medio/laterale sono risultati minori rispetto a quelli verificatisi sull'asse antero/posteriore. Questo risultato rappresenta una caratteristica verosimilmente legata all'anatomia dell'articolazione tibio-tarsica che, essendo di tipo a troclea, permette il movimento sul piano sagittale, ma non frontale. Il risultato era in ogni caso prevedibile, se si tiene conto della teoria dell'equilibrio di Winter (1998), detta "del pendolo invertito", secondo la quale l'equilibrio del corpo umano si compie come un pendolo che ha il fulcro sull'articolazione della caviglia, quindi oscilla solamente avanti e indietro.

Tuttavia, proprio sull'asse medio/laterale si è verificata l'unica influenza significativa dei compiti secondari. Nei giovani, infatti, l'esecuzione del compito secondario motorio e del compito associato (motorio più cognitivo) ha portato a una significativa riduzione della DS, rispetto alla condizione di base "In piedi", mentre quello cognitivo ha incrementato la DS, anche se non in modo significativo, rivelando quindi un peggioramento dell'equilibrio.

L'esecuzione dei compiti secondari, comunque, ha mostrato lo stesso trend di influenza (positiva per il motorio, negativa per il cognitivo) anche sul piano sagittale, ma senza variazioni significative.

Questi risultati confermano precedenti dati della letteratura per cui, nei giovani, le oscillazioni posturali più ampie si hanno sul piano sagittale (Gatev et al. 1999; Winter et al. 1998) ed il controllo posturale è maggiore esattamente sul piano in cui avvengono le più ampie oscillazioni (Roerdink et al. 2006). Inoltre, in una recente review sul potere predittivo del rischio di caduta attraverso valutazioni eseguite su pedane di forza, Piirtola & Era (2006) hanno riscontrato come siano proprio le oscillazioni sull'asse medio/laterale ad avere in tal senso maggior significato. Sulla base di queste evidenze, quindi, ci si doveva aspettare che le influenze significative di un compito secondario avvenissero sul piano in cui il controllo

dell'equilibrio sembra essere meno accurato, proprio come si è verificato nei partecipanti a questo studio.

Nel gruppo di anziani l'influenza del compito secondario è andata nella stessa direzione, pur non risultando significativa. Tuttavia, se si considera, per i due gruppi, la variazione percentuale delle diverse condizioni rispetto a quella di base, si può rilevare che nei giovani il compito secondario che esercita la maggior influenza sull'equilibrio è il motorio, mentre negli anziani è il cognitivo.

Infatti, considerando il piano frontale (quello in cui è stato dimostrato esserci una maggiore difficoltà a controllare l'equilibrio) l'esecuzione del compito motorio ha portato ad un miglioramento dell'equilibrio di circa il 30% nel gruppo giovani, mentre ha lasciato quasi invariato la DS del CoP nel gruppo anziani.

In quest'ultimo, per contro, l'esecuzione del compito cognitivo ha peggiorato l'equilibrio del 15%, effetto peraltro verificatosi anche sul piano sagittale (incremento del 20% della DS del CoP). Ciò ha confermato l'ipotesi iniziale sul compito cognitivo, confermando nello stesso tempo i dati della letteratura: l'esecuzione contemporanea, infatti, di due compiti (primario e secondario) è stata riconosciuta difficoltosa negli anziani, in particolare se il secondo compito è di natura cognitiva (Pellecchia, 2003; Melzer et al. 2001; Shumway-Cook & Woollacott, 2000). Se poi tale compito è di tipo visuo-spaziale (come il test di Brooks), la competizione nelle capacità attentive sembra essere maggiore, e ciò produrrebbe un'interferenza più importante nel controllo dell'equilibrio (Kerr et al. 1985; Maylor & Wing, 1996) con effetti peggiorativi più pronunciati (oscillazioni del CoP più ampie), in particolare sull'asse medio/laterale (Maylor et al. 2001), tra giovani e anziani, come appunto abbiamo anche noi osservato.

Per quanto riguarda l'influenza del compito motorio, si è dimostrato, in particolare nei giovani, che il cilindro può ridurre le oscillazioni del CoP, come da nostra ipotesi iniziale. L'influenza di un compito secondario di natura motoria è stato valutato solamente in due studi prima del nostro, mostrando peraltro risultati discordanti. Infatti, in uno si è dimostrato un miglioramento dell'equilibrio (Morioka et al. 2005), nell'altro un decremento (Weeks et al. 2003). I due opposti risultati potrebbero essere dovuti alla diversità dei due compiti utilizzati (non rovesciare l'acqua da una ciotola tenuta su un vassoio, nel primo, premere un trasduttore di forza tra pollice e indice, nel secondo), che, pur essendo entrambi di origine motoria, non consistevano nella stessa azione, e ciò potrebbe giustificare le diversità riscontrate. Il compito motorio scelto nel nostro studio è paragonabile a quello utilizzato da Morioka e ciò potrebbe essere il motivo per cui i risultati da noi ottenuti confermano quelli di questo autore.

La natura dei due compiti secondari sembra quindi influenzare in modo opposto il controllo dell'equilibrio, sia nei giovani che negli anziani. La spiegazione che si può dare a questo risultato, potrebbe risiedere nella diversa complessità dei due compiti. Il compito cognitivo, infatti, coinvolge probabilmente più processi cerebrali (come per esempio la memoria, la concentrazione, l'attenzione) e quindi un maggior numero di connessioni multisinaptiche tra diverse aree cerebrali, rispetto a ciò che il compito motorio può probabilmente determinare; quest'ultimo, infatti, richiede solamente di prestare attenzione a muoversi il meno possibile per garantire una base d'appoggio più stabile possibile al fine di non far cadere il cilindro.

Il fatto che il compito cognitivo abbia avuto effetti più marcati negli anziani rispetto ai giovani può verosimilmente essere legato al fisiologico processo di invecchiamento che porta ad una riduzione del numero di cellule e connessioni neuronali, con una inevitabile riduzione

delle capacità cognitive complessive e causando, con l'avanzare dell'età, una maggiore difficoltà a dividere l'attenzione tra più compiti eseguiti contemporaneamente.

Inoltre, per confermare gli effetti dei compiti secondari sulla DS del CoP, le diverse variabili sono state analizzate con un test di correlazione, da cui è emersa la presenza di una correlazione positiva con la DS del cilindro e negativa con lo score del test di Brooks, sia nei giovani che negli anziani, come se, in effetti, l'inserimento di un compito motorio e di un compito cognitivo possa influenzare in modo positivo e negativo, rispettivamente, il controllo dell'equilibrio.

La somministrazione di un compito secondario associato, motorio e cognitivo, è stata usata, infine, per avvalorare o meno l'ipotesi che questo avesse un'influenza maggiore rispetto alle condizioni dual-task, con diversità tra anziani e giovani.

Dai risultati emerge che l'influenza sull'equilibrio del compito secondario doppio va nella stessa direzione del compito singolo predominante, sia nei giovani che negli anziani. Sull'asse medio/laterale, infatti, il cilindro ha migliorato l'equilibrio nei giovani, riducendo del 16% la DS, mentre negli anziani il test di Brooks lo ha peggiorato, incrementando la DS del 30% circa.

Tuttavia, negli anziani, sull'asse medio/laterale, l'associazione dei due compiti secondari ha avuto un effetto peggiorativo maggiore, con oscillazioni più ampie rispetto a quelle che hanno determinato i due compiti secondari eseguiti singolarmente.

Ciò conferma la nostra ipotesi iniziale che gli effetti dell'esecuzione contemporanea di due compiti secondari sono più evidenti negli anziani rispetto ai giovani, e risultano peggiori rispetto a quelli che i compiti secondari presi singolarmente possono comportare. La ragione di questo risultato probabilmente risiede nella maggiore complessità e attenzione che un compito "triplo" richiede, come già evidenziato in letteratura: infatti, gli anziani, rispetto ai

giovani, richiederebbero risorse attentive maggiori per mantenere l'equilibrio (Woollacott & Shumway-Cook, 2002) e avrebbero maggiori difficoltà a dividere l'attenzione tra due compiti eseguiti simultaneamente (Maylor & Wing, 1996; Brown et al. 1999; Maylor et al. 2001), condizione che porta ad alterazioni del controllo dell'equilibrio.

Inoltre, il risultato ottenuto negli anziani, sembrerebbe confermare la teoria "U-shaped" sostenuta da Huxold, secondo la quale se un compito secondario è troppo complesso, nei soggetti anziani, si verifica una competizione delle risorse attentive, tale per cui l'esecuzione del compito secondario entra in conflitto con il controllo posturale e causa, a scapito di quest'ultimo, un incremento delle oscillazioni del corpo. Condizione che peraltro non si manifesta nei giovani (Huxhold et al. 2006).

In letteratura, vi è un solo studio in cui è stato valutato l'equilibrio durante la contemporanea esecuzione di un compito motorio e cognitivo (Weeks et al. 2003) e tale studio conclude che, in giovani e anziani, il compito triplo non influenza l'equilibrio tanto quanto quello singolo, contrariamente a quanto da noi dimostrato negli anziani. La ragione di tale differenza potrebbe trovare spiegazione sia nella diversità di compiti secondari utilizzati nei diversi protocolli, sia, secondo la teoria di Huxold, nella maggiore complessità del nostro compito triplo.

L'ultima delle nostre ipotesi iniziali era tesa a dimostrare come gli effetti dei compiti secondari sugli anziani fossero maggiori (più marcati) rispetto a quelli sui giovani, condizione che ci aspettavamo si dimostrasse con differenze statisticamente significative tra le diverse condizioni all'interno del gruppo anziani. In realtà, pur essendo le differenze apprezzabili in valore assoluto, esse non hanno avuto un riscontro dall'analisi statistica, la quale ha mostrato una mancanza di significatività.

Considerando che la presenza di differenze inter-individuali è tipica del processo di invecchiamento, e che tra gli anziani esiste una grande variabilità nell'esecuzione di compiti psicomotori (Spiriduso et al. 1995), l'assenza di significatività potrebbe essere stata causata da questo fattore.

Allo stesso modo, essa potrebbe essere legata al fisiologico processo di invecchiamento che porta ad un declino del sistema di controllo dell'equilibrio nel suo complesso (Horak et al. 1989), e che potrebbe aver determinato nei partecipanti anziani una maggiore difficoltà selettiva degli input sensoriali e quindi una minore risposta posturale in seguito agli stimoli esterni dei compiti secondari. Del resto, la diversità dei risultati delle performance ottenute dai due gruppi nei singoli compiti ha confermato gli effetti peggiorativi dell'invecchiamento, il quale ha portato a score significativamente più bassi negli anziani rispetto ai giovani. Gli anziani, infatti, hanno dimostrato un peggiore controllo del cilindro (pause nel bilanciarlo e maggiore DS dell'angolo) e una ridotta capacità a memorizzare gli input visuo-spaziali del test di Brooks (minor numero di risposte corrette), indice, rispettivamente, di un deterioramento del sistema motorio e cognitivo.

CONCLUSIONI

In conclusione questo studio conferma che nell'anziano il controllo dell'equilibrio è peggiore rispetto a quello del giovane. Ciò è verosimilmente legato al fisiologico processo di invecchiamento, ma evidenzia nel contempo, in questo processo, il deterioramento dei sistemi direttamente deputati al controllo posturale. Inoltre, sempre nell'anziano, l'esecuzione di un compito secondario di natura cognitiva, che comporta un aumento dell'ampiezza delle oscillazioni del corpo, può essere causa di alterato controllo dell'equilibrio, con un aumento del rischio di uscire dalla base di appoggio e quindi di cadere.

Nei giovani, al contrario, l'esecuzione di un compito secondario di natura motoria porta alla riduzione delle oscillazioni del corpo, e quindi ad una maggiore stabilità.

Gli effetti opposti e diversificati dei due compiti nei due gruppi potrebbero essere dovuti alla diversa complessità degli stessi, in quanto il compito cognitivo probabilmente coinvolge più network e connessioni cerebrali multisinaptiche, mentre il compito motorio prevede semplicemente di prestare maggiore attenzione a non oscillare per garantire una base d'appoggio più stabile per l'esecuzione del compito in questo studio richiesto. La maggior complessità funzionale del primo potrebbe quindi ampiamente giustificare i risultati negativi ottenuti negli anziani.

Infine, questo studio ha dimostrato che l'esecuzione contemporanea di due compiti secondari porta ad effetti peggiorativi negli anziani rispetto ai giovani, e amplificati rispetto agli effetti che i singoli compiti secondari possono causare. La ragione di questo risultato probabilmente risiede nella maggiore complessità e attenzione che un compito "triplo" richiede, la quale comporta una competizione delle risorse attentive, tale per cui l'esecuzione

del compito secondario entra in conflitto con il controllo posturale e causa, a scapito di quest'ultimo, un peggioramento dell'equilibrio.

Tuttavia, le evidenze della letteratura sono scarse e trarre delle conclusioni definitive sarebbe azzardato. Ulteriori approfondimenti sono quindi necessari. Potrebbe essere anche interessante l'applicazione del paradigma dual-task, che preveda sia compiti motori che cognitivi, contemporaneamente all'effettuazione di una risonanza magnetica funzionale, per valutare più compiutamente l'attivazione neuronale del cervello e stabilire quindi con esattezza il reale coinvolgimento delle diverse aree encefaliche nelle attività richieste.

Bibliografía

1. Shumway-Cook A & Woollacott MH. Motor control: Theory and Practical Applications (2nd ed). Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
2. Rose DJ. Fallproof. A comprehensive balance and mobility program. Champaign, IL. Human Kinetics, 2003.
3. Basmajian JV & De Luca CJ. Muscle alive: their functions revealed by electromyography (5th ed). Baltimore. Williams and Wilkins, 1985.
4. Elble RJ. "Changes in gait with normal aging", In Masdeu JC, Sudarsky L, Wolfson L, Gait disorder of aging. Falls and therapeutic strategies. Philadelphia. Lippincott-Raven, 1997.
5. Studenski S, Duncan PW, Chandler J, Samsa G, Prescott B, Hogue C, Bearon LB. Predicting falls: the role of mobility and nonphysical factors. J Am Geriatr Soc. 1994;42(3):297-302.
6. Nasher LM. Sensory, neuromuscular and biomechanical contribution to humane balance. In Pw. Duncan Ed, Balance: Proceedings of the APTA forum. Virginia: American Physical Therapy 1990.
7. Brown LA, Shumway-Cook A, Woollacott MH. Attentional demands and postural recovery: the effects of aging. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 1999;54(4):M165-71.
8. McIlroy WE, Maki B. Age-related changes in compensatory stepping in response to unpredictable perturbations. J of Gerontology. 1996;51A:289-296.
9. Horak F, Nasher LM. Central programme of postural movements: adaptation to altered support surface configuration. J of Neurophysiology. 1986; 55:1369-81.

10. 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.
11. Shumway-Cook A & Woollacott M. Attentional demands and postural control: the effects of sensory context. *J of Gerontology*. 2000; 55A:M10-16.
12. Shumway-Cook A, Woollacott M, Baldwin M, Kerns K. The effects of cognitive demands on postural sway in elderly fallers and non-fallers. *J Gerontol*. 1997;52A:M232-M240.
13. Brauer SG, Woollacott M, Shumway-Cook A. The interacting effects of cognitive demand and recovery of postural stability in balance-impaired elderly persons. *Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2001;56(8):M489-96.
14. Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA, Fleg JL, Fozard JL, Tobin J, Roy TA, Hurley BF. Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 yr. *J Appl Physiol*. 1997;83(5):1581-7.
15. Spiriduso WW, Francis KL, MacRae PG. *Physical dimensions of aging* (2nd ed). Champaign, IL: Human Kinetics, 2005.
16. Alexander NB. Postural control in older adults. *J Am Geriatr Soc*. 1994;42(1):93-108.
17. Erim Z, Beg MF, Burke DT, de Luca CJ. Effects of aging on motor-unit control properties. *J Neurophysiol*. 1999; 82(5):2081-91.
18. Wolfson L. Balance decrements in older persons: Effects of age and disease. In Masdeu JC, Sudarsky L, Wolfson L, *Gait disorder of aging. Falls and therapeutic strategies*. Philadelphia. Lippincott-Raven, 1997.
19. Yaffe K, Barnes D, Nevitt M, Lui LY, Covinsky K. A prospective study of physical activity and cognitive decline in elderly women: women who walk. *Arch Intern Med*. 2001;161(14):1703-8.

20. Rose DJ & Clark S. Can the control of bodily orientation be improved in a group of older adults with history of falls? *J Am Geriatr Soc.* 2000; 48:275-282.
21. Rose DJ, Hernandez D. The role of exercise in fall prevention for older adults. *Clin Geriatr Med.* 2010; 26(4):607-31.
22. Buchner DM, Cress ME, de Lateur BJ, Esselman PC, Margherita AJ, Price R, Wagner EH. The effect of strength and endurance training on gait, balance, fall risk, and health services use in community-living older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1997;52(4):M218-24.
23. Rose DJ. "A multilevel approach to the study of motor control and learning" Boston, MA: Allyn & Bacon. 1997.
24. Wolfson L, Whipple R, Derby C, Judge J, King M, Amerman P, Schmidt J, Smyers D. Balance and strength training in older adults: intervention gains and Tai Chi maintenance. *J Am Geriatr Soc.* 1996;44(5):498-506.
25. Berg KO, Wood-Dauphinee SL, Williams JI, Maki B: Measuring balance in the elderly: Validation of an instrument. *Canadian J of Public Health*, 83:S7-11, 1992.
26. Tinetti ME.: Performance oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *J Am Geriatric Society.* 1986; 34:119-126.
27. 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;41(5):479-87.
28. Shumway-Cook A, Baldwin M, Polissar N, Gruber W. Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults. *Phys Ther.* 1997; 77(8):812-819.
29. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc.* 1991;39(2):142-8.

30. Whitney SL, Poole JL, Cass SP. A review of balance instruments for older adults. *Am J Occup Ther.* 1998; 52(8):666-71.
31. Duncan P, Weiner D, Chandler J, Studenski S. Functional reach: a new clinical measure of balance. *J of Gerontology.*1990; 45:M192-197.
32. Shumway-Cook A, Horak FB. Assessing the influence of sensory interaction on balance. *Physical Therapy.*1986; 66(10):1548-1550.
33. Lajoie Y, Teasdale N, Bard C, Fleury M. Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Exp Brain Res.* 1993;97(1):139-44.
34. Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture.* 2002;16(1):1-14.
35. Lacour M, Bernard-Demanze L, Dumitrescu M. Posture control, aging, and attention resources: models and posture-analysis methods. *Neurophysiol Clin.* 2008 Dec;38(6):411-21.
36. Fearing, FS. Factors influencing static equilibrium. *Journal of Comparative Psychology.* 1925;5:1-24.
37. Huxhold O, Li SC, Schmiedek F, Lindenberger U. Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Res Bull.* 2006;69(3):294-305.
38. Winter DA, Patla AE, Prince F, Ishac M, Gielo-Periczak K. Stiffness control of balance in quiet standing. *J Neurophysiol.* 1998;80(3):1211-21.
39. Piirtola M, Era P. Force platform measurements as predictors of falls among older people - a review. *Gerontology.* 2006;52(1):1-16.

40. Shumway-Cook A, Woollacott M, Kerns KA, Baldwin M. The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 1997; 52(4):M232-40.
41. Andersson G, Hagman J, Talianzadeh R, Svedberg A, Larsen HC. Effect of cognitive load on postural control. *Brain Res Bull*. 2002; 58(1):135-9.
42. Redfern MS, Jennings JR, Martin C, Furman JM. Attention influences sensory integration for postural control in older adults. *Gait Posture*. 2001; 14(3):211-6.
43. Teasdale N, Simoneau M. Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration. *Gait Posture*. 2001; 14(3):203-10.
44. Melzer I, Benjuya N, Kaplanski J. Age-related changes of postural control: effect of cognitive tasks. *Gerontology*. 2001; 47(4):189-94.
45. Kilbreath SL, Heard RC. Frequency of hand use in healthy older persons. *Aust J Physiother*. 2005; 51(2):119-22.
46. Morioka S, Hiyamizu M, Yagi F. The effects of an attentional demand tasks on standing posture control. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*. 2005; 24(3):215-9.
47. Weeks DL, Forget R, Mouchnino L, Gravel D, Bourbonnais D. Interaction between attention demanding motor and cognitive tasks and static postural stability. *Gerontology*. 2003; 49:225–232.
48. Kerr B, Condon, SM, McDonald LA. Cognitive spatial processing and the regulation of posture. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 1985;11(5):617-22.
49. Maylor EA, Wing AM. Age differences in postural stability are increased by additional cognitive demands. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*. 1996;51(3):P143-54.
50. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. Mini-mental state. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res*. 1975; 12(3):189-98.

51. Brooks L.R. Q J Exp Psychol. 1967; 19:289-99.
52. Yardley L, Gardner M, Leadbetter A, Lavie N. Effect of articulatory and mental tasks on postural control. Neuroreport. 1999; 10:215-9.
53. Gatev P, Thomas S, Kepple T, Hallett M. Feedforward ankle strategy of balance during quiet stance in adults. J Physiol. 1999;514 (Pt 3):915-28.
54. Roerdink M, De Haart M, Daffertshofer A, Donker SF, Geurts AC, Beek PJ. Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. Exp Brain Res. 2006;174(2):256-69.
55. Pellecchia GL. Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task. Gait Posture. 2003;18(1):29-34.
56. Maylor EA, Allison S, Wing AM. Effects of spatial and nonspatial cognitive activity on postural stability. Br J Psychol. 2001;92(Pt 2):319-38.
57. Marsh AP, Geel SE. The effect of age on the attentional demands of postural control. Gait Posture. 2000;12(2):105-13.
58. Horak FB, Shupert CL, Mirka A. Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. Neurobiol Aging. 1989;10(6):727-38.