

Dottorato in Bioingegneria XIX ciclo

*Relazione Attività di Ricerca
dell'Anno 2005*

SISTEMI A BIOFEEDBACK E REALTA' VIRTUALE PER LA RIABILITAZIONE MOTORIA

Dottorando: **Marco Dozza**

Supervisore: Prof. Angelo Cappello

Co-supervisor: Prof. Lorenzo Chiari
Prof.ssa Fay B. Horak

Controrelatore: Prof. Carlo Marchesi

Sommario delle attività svolte:

L'attività di ricerca nell'anno 2005 è stata principalmente orientata alla sperimentazione su soggetti sani e vestibolari di sistemi di audio-biofeedback (ABF), di video-biofeedback (VBF), e di biofeedback tattile (TBF) per il controllo posturale. I sistemi di ABF e di VBF erano stati sviluppati ad hoc nell'ambito di questo progetto di ricerca negli scorsi anni mentre il sistema di TBF è stato messo a disposizione dall'Harvard Medical School, Department of Otology and Laryngology, Boston (MA), USA.

Durante questo ultimo anno sono state inoltre portate a termine alcune attività già avviate nel corso del primo anno di dottorato e culminate nella stesura di tre articoli. Uno degli articoli è già stato pubblicato, uno è in corso di revisione, e l'ultimo sarà sottomesso a giorni.

Tutte queste attività sono state in parte svolte presso il Balance Disorders Laboratory all'Oregon Health and Science University di Portland (OR) sotto la supervisione della Prof.ssa Fay Horak e del Prof. Robert Peterka con la collaborazione del Prof. Conrad Wall, III e del Prof. James Frank. Il periodo di ricerca negli Stati Uniti si è svolto da Febbraio a Settembre 2005.

In parallelo a queste attività i sistemi di ABF e VBF sono stati presentati nel corso di diversi eventi di disseminazione scientifica per avvicinare il grande pubblico alle problematiche legate alla riabilitazione dei disturbi dell'equilibrio e alla sperimentazione dei sistemi a biofeedback. Diversi articoli, riguardanti la semplicità ed efficacia dell'ABF condotta in questi anni presso il Balance Disorders Laboratory, sono apparsi sulla stampa americana nazionale "Los Angeles Time" e locale come "The Oregonian".

Nel seguito di questa relazione sono presentati 4 studi sviluppati in questo anno di dottorato.

- 1) Risultati ottenuti da un'analisi di diffusione degli stabilogrammi registrati in soggetti giovani sani durante l'uso di ABF (Pubblicati su *J Neuroengineering Rehabil.*);
- 2) Risultati ottenuti da una sperimentazione su soggetti vestibolari bilaterali con ABF (Sottomessi a *Exp. Brain. Res.*);
- 3) Risultati preliminari riguardanti il confronto fra ABF e VBF (Presentati al congresso *SIAMOC 2005*)
- 4) Risultati riguardanti la specificità della risposta posturale all'ABF (in fase di sottomissione)

1. Sperimentazione dell'audio-biofeedback: analisi stabilogrammetrica diffusionale

(Questi risultati sono presentati in dettaglio nel lavoro "Influence of a Portable Audio-Biofeedback device on Structural Properties of Postural Sway" pubblicato su *J Neuroengineering Rehabil.* 2005 May 31;2:13.)

L'equilibrio umano si basa su meccanismi di controllo di tipo feed-forward (FF) (open loop) e feed-back (FB) (closed loop). Il controllo FF è affidato alla capacità del cervello di anticipare i movimenti corporei. Il controllo FB dipende, invece, dalla risposta del cervello all'informazione sensoriale. Il modo in cui il cervello combina i controlli di tipo FB e FF per il mantenimento dell'equilibrio è tuttora sconosciuto. La quantità di controllo FB e FF esercitata dal cervello per mantenere l'equilibrio dipende, tra le altre cose, dalla quantità di informazione sensoriale disponibile. La possibilità di rendere disponibile un'informazione posturale aggiuntiva tramite sistemi a biofeedback è stata studiata da diversi autori; fino ad ora, però, non è stato ancora completamente compreso l'effetto del biofeedback sui meccanismi FB e FF del controllo posturale. Il presente lavoro si propone di verificare l'ipotesi che la disponibilità di informazione aggiuntiva, relativa alla cinematica del tronco, per mezzo di audio biofeedback (ABF) comporti un incremento del controllo posturale sia di tipo FF che FB, da parte del cervello.

Metodologia:

Nove soggetti sani hanno partecipato all'esperimento indossando un sistema ABF (Chiari et al., 2005) e mantenendo una postura eretta quieta con occhi chiusi. Il sistema ABF da noi realizzato codifica l'accelerazione del tronco del soggetto in un suono stereo che il soggetto stesso può ascoltare per mezzo di cuffie. La postura dei soggetti durante l'esperimento è stato studiato con una pedana di forza. Inoltre, sono stati registrati i segnali EMG dei muscoli Tibiale, Gastrocnemio e Soleo.

Ciascun soggetto è stato sottoposto a un protocollo sperimentale composto da due condizioni (superficie di contatto col suolo solida o compliante) comprendente ciascuno due modalità (disponibilità o meno di ABF). Per ogni condizione e per ciascuna modalità sono state registrate 3 prove per un totale di 12 prove per ogni soggetto. Durante ogni prova è stato richiesto ai soggetti di usare l'informazione ABF, quando disponibile, per stabilizzare il loro equilibrio. L'analisi dei dati di pedana è stata incentrata su 2 parametri relativi al movimento del centro di pressione (COP) (Prieto et al., 1996): (1) la distanza quadratica media degli spostamenti del COP (RMS) e (2) la frequenza che comprende il 95% della potenza dello spettro del COP (F95%). Per determinare l'ammontare del controllo FB e FF si è anche utilizzata l'analisi stabilografica diffusionale come proposta da Collins et al. (1993) determinando i parametri K and ΔTc (Chiari et al., 2000). Dai segnali EMG è stata ottenuta l'attività muscolare media e il livello di co-contrazione (Olney & Winter, 1985) muscolare fra agonisti e antagonisti. L'analisi statistica dei dati è stata condotta usando il test ANOVA.

Risultati e Discussione:

L'uso dell'ABF riduce l'entità delle oscillazioni posturali, infatti il parametro RMS risulta essere significativamente ridotto ($p < 0.01$; Fig.2) nelle prove con ABF. La riduzione dell'oscillazione posturale comporta una maggior distanza dai limiti di stabilità: questo dato suggerisce un miglioramento dell'equilibrio del soggetto. I parametri K and ΔTc (Fig.1) risultano significativamente ridotti nelle prove con ABF ($p < 0.01$; Fig.2). Questo risultato suggerisce un aumento di controllo di tipo FB. Inoltre, il significativo incremento del parametro F95% ($p < 0.01$; Fig.2) nelle condizioni con ABF, può essere interpretato come un aumento delle correzioni posturali. Questo risultato concorda con l'ipotesi secondo cui l'utilizzo dell'ABF aumenta il controllo posturale FB e FF. Poiché il controllo FF è positivamente influenzato dall'esercizio, l'uso sistematico del sistema ABF potrebbe portare a un ulteriore miglioramento dell'equilibrio dovuto al potenziamento del controllo FF. L'attività media dei muscoli non è cambiata significativamente fra le prove con ABF e quelle senza (Fig 3a). Anche il livello di co-contrazione fra i muscoli presi in esame non è cambiato significativamente fra le prove con ABF e quelle senza (Fig 3b). Questi risultati supportano l'ipotesi per la quale la risposta posturale al sistema di ABF non è semplicemente dovuta a un

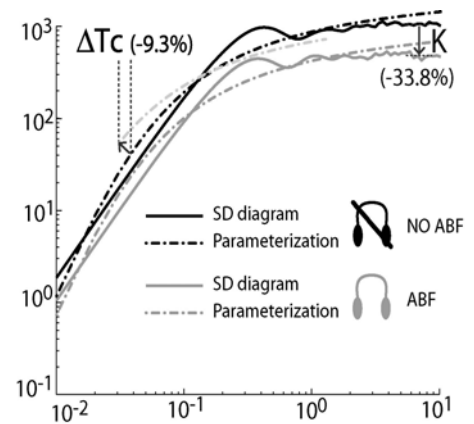


Fig 1. Diagramma diffusionale eseguito su due registrazioni dello spostamento del centro di pressione, una eseguita senza ABF (nero) e l'altra eseguita usando il sistema di ABF (grigia).

ABF effect on sway parameters

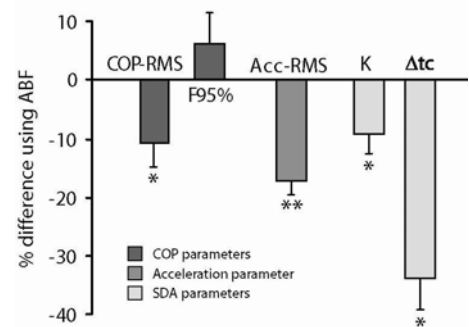


Fig 2. Effetto dell'uso del sistema a ABF su alcuni parametri ricavati dall'analisi posturale tradizionale e dall'analisi diffusionale. * indica $p < 0.05$; ** indica $p < 0.01$

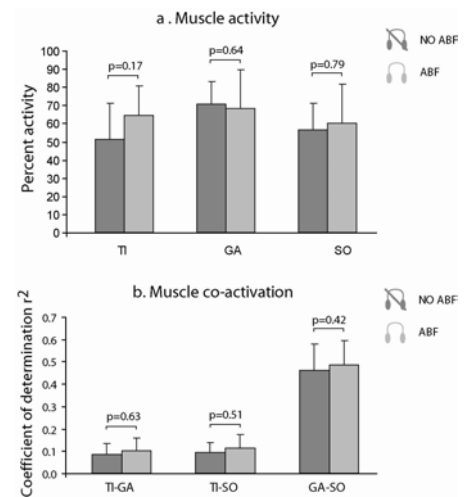


Fig 3. Attivazione muscolare media e co-contrazione stimata in condizioni con e senza ABF.

irrigidimento muscolare bensì a un controllo più fine delle correzioni posturali.

Riferimenti Bibliografici:

- Prieto TE, Myklebust JB, Hoffmann RG, Lovett EG, Myklebust BM. Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1996 Sep;43(9):956-66.
- Chiari L., Dozza M., Cappello A, Horak FB, Macellari V., Giansanti D.: An accelerometry-based system for balance improvement using audio-biofeedback. *IEEE Trans Biomed Eng* 2005, in press.
- Chiari L, Bertani A, Cappello A: Classification of visual strategies in human postural control by stochastic parameters. *Hum Mov Sci* 2000, 19: 817-842.
- Collins JJ, De Luca CJ: Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Exp Brain Res* 1993, 95: 308-318.
- Olney SJ, Winter DA: Predictions of knee and ankle moments of force in walking from EMG and kinematic data. *J Biomech* 1985, 18: 9-20.

2. Sperimentazione dell'audio-biofeedback: risultati su soggetti vestibolari

(Sottomesso a *Exp. Brain Res.* con titolo "Auditory Biofeedback Substitutes for Loss of Sensory Information in Maintaining Stance")

Metodologia:

Ci si è serviti dello stesso set-up sperimentale già descritto nella sezione precedente (Fig. 4). Nove soggetti con patologia vestibolare bilaterale e nove soggetti normali si sono sottoposti all'esperimento mantenendo una postura ortostatica eretta in 3 diverse condizioni di limitazione sensoriale: occhi chiusi, occhi aperti su gommapiuma, occhi chiusi su gommapiuma. Queste 3 condizioni sono state testate con e senza ABF.

L'analisi dei dati si è concentrata su alcuni parametri di pedana quali, root mean square distance (RMS), e frequenza comprendente il 95 % della potenza del segnale (F95%; Prieto et al., 1986), nonché su parametri ricavati dal segnale accelerometrico. Un'analisi ANOVA è stata eseguita sui dati per individuare gli effetti semplici e combinati di ABF e di patologia vestibolare e le relative significatività statistiche sui parametri appena menzionati.

Principali risultati e discussione:

1) Sia i soggetti con patologia vestibolare che quelli sani hanno ridotto l'ampiezza delle loro oscillazioni posturali (cioè il parametro RMS) usando il sistema di ABF in tutte le 3 condizioni testate (Fig.5). Sia i soggetti con patologia vestibolare che quelli sani hanno aumentato il parametro F95% nelle 3 condizioni testate usando il sistema di ABF.

Questo risultato suggerisce che il sistema di audio-biofeedback abbia avuto un effetto stabilizzante sia sui soggetti vestibolari che su quelli di controllo in tutte le condizioni sensoriali analizzate (Fig.5) e che questa stabilità sia dovuta a una maggior frequenza e accuratezza delle correzioni posturali. Questi risultati sono in pieno accordo con Dozza et al., 2005a e Dozza et al. 2005b.

2) Si è riscontrata un'alta correlazione ($r^2=0.6$) fra severità della patologia quantificata in funzione del guadagno del riflesso oculovestibolare a 0.05 Hz e miglioramento della stabilità in termini di riduzione del parametro RMS (Fig. 6A). La correlazione fra severità della patologia vestibolare e dipendenza dei soggetti dal canale visivo o propriocettivo si è rivelata invece piuttosto bassa

Components of the Custom-made ABF System

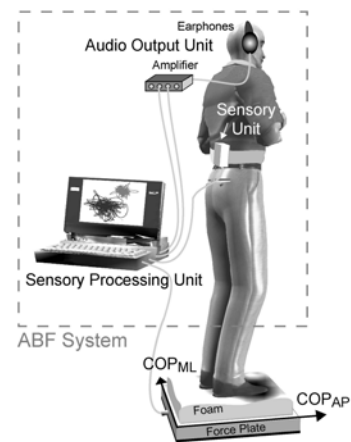


Fig 4. Protocollo sperimentale

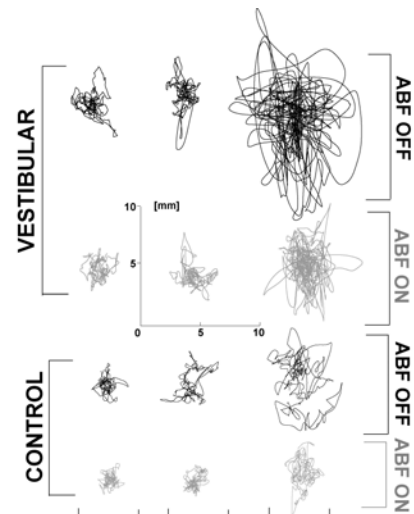


Fig 5. Statokinesigrammi di un soggetto vestibolare e di un soggetto sano in tutte le condizioni testate.

(Fig 6 B e C), come pure la correlazione fra riduzione di RMS e ampiezza assoluta delle oscillazioni posturali (Fig. 6D).

Questi risultati supportano l'ipotesi per la quale l'effetto stabilizzante del sistema di ABF è stato proporzionale alla limitazione di informazione vestibolare ma non proporzionale all'ampiezza delle oscillazioni in assoluto. Quindi, questo risultato chiarisce che la riduzione delle oscillazioni posturali indotte dall'ABF non è semplicemente proporzionale alla potenziale riduzione delle oscillazioni posturali di ogni soggetto. In altre parole non sono semplicemente i soggetti che manifestano una oscillazione posturale molto ampia a beneficiare di più dall'uso dell'ABF bensì quelli che mostrano una più ridotta o limitata informazione sensoriale.

3) Grazie ai dati raccolti in questo esperimento si è potuto quantificare, in termini medi, l'influenza di ciascun canale sensoriale (visivo, vestibolare, somatosensibile e audio) sulla riduzione delle oscillazioni posturali. Questi dati sono stati condensati in alcuni diagrammi di Venn (Fig. 7).

Da questi diagrammi di Venn discendono alcune interessanti considerazioni.

- 1) I canali sensoriali sono tutti fra loro ridondanti (sia a due a due che considerati tutti insieme).
- 2) La ridondanza fra informazione visuale e somatosensibile aumenta a seguito della perdita di informazione vestibolare.
- 3) L'informazione ABF è più utile in assenza di informazione vestibolare.
- 4) L'informazione ABF tende ad essere più ridondante con quella visiva nei soggetti vestibolari e con quella somatosensibile nei soggetti normali.

Riferimenti Bibliografici:

- Prieto TE, Myklebust JB, Hoffmann RG, Lovett EG, Myklebust BM. Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1996 Sep;43(9):956-66..
- Dozza M, Chiari L, Horak FB. Audio-biofeedback improves balance in patients with bilateral vestibular loss. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005 Jul;86(7):1401-3.
- Dozza M, Chiari L, Chan B, Rocchi L, Horak FB, Cappello A. Influence of a portable audio-biofeedback device on structural properties of postural sway. *J Neuroengineering Rehabil.* 2005 May 31;2:13.

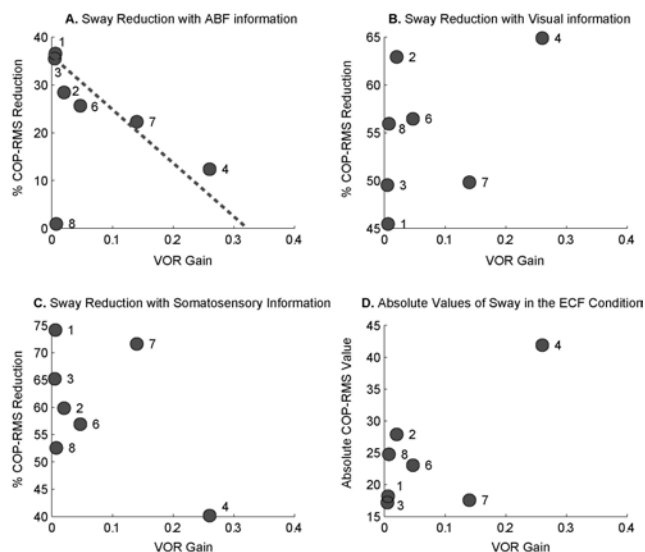


Fig 6. Dipendenza dei soggetti vestibolari dalle diverse informazioni sensoriali in funzione della severità della loro patologia.

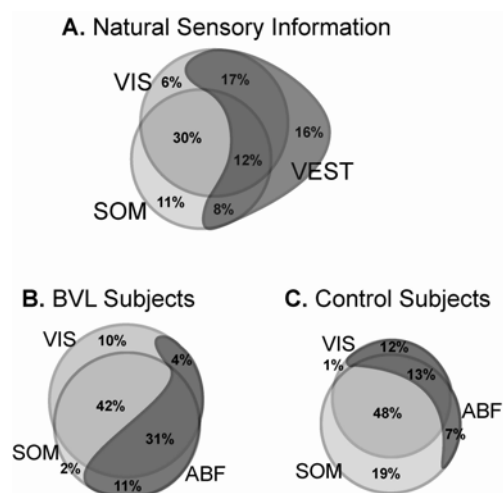


Fig 7. Riduzione potenziale dell'ampiezza delle oscillazioni posturali determinate dalla disponibilità delle diverse informazioni sensoriali.

3. Audio e Visual Biofeedback a Confronto:

(Presentato al congresso SIAMOC 2005 con titolo "Visual vs audio biofeedback for the control of upright posture")

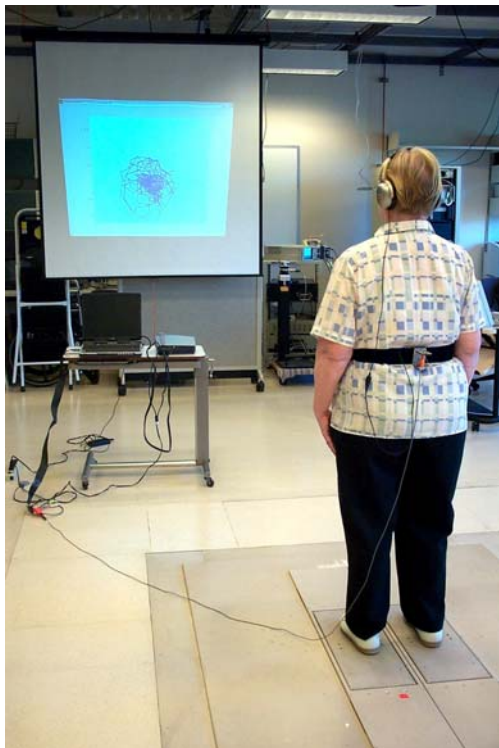


Fig. 8. Protocollo sperimentale con biofeedback visuale.

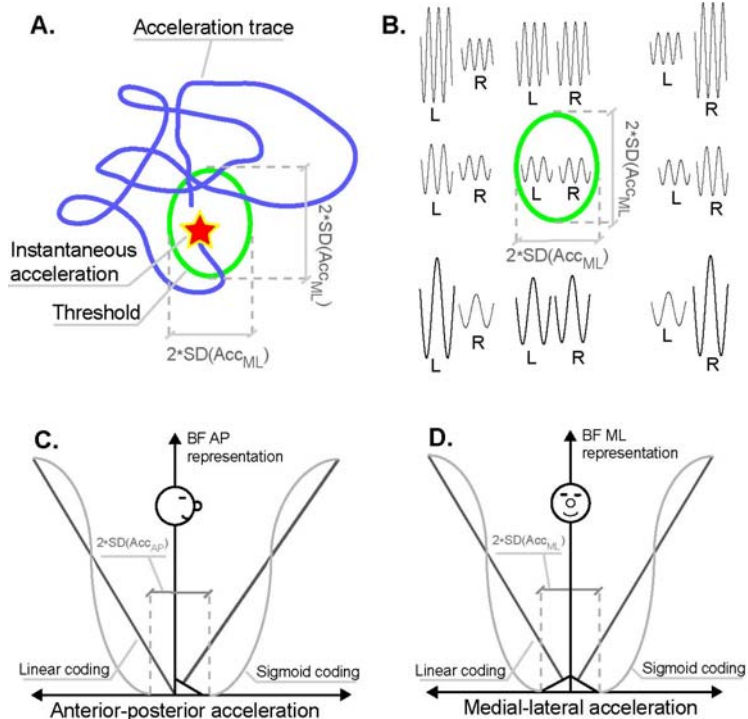


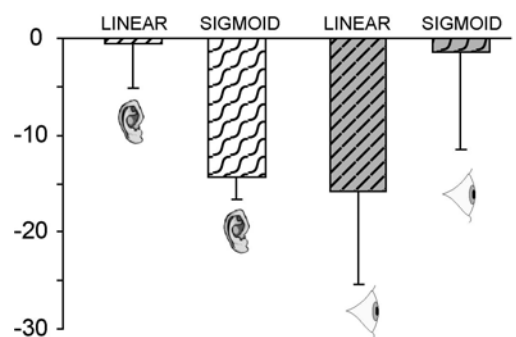
Fig. 9. Funzioni di codifica lineare e sigmoide utilizzate per i biofeedback acustico e visuale.

Sperimentazioni sull'uso del biofeedback (BF) visivo per il controllo posturale sono in corso fin dagli anni '70 (Hlavacka and Litvinenkova, 1973) e, tradizionalmente, sono legate alla visualizzazione su monitor della posizione del centro di pressione del soggetto sotto esperimento. A tutt'oggi alcuni sistemi commerciali finalizzati all'analisi dell'equilibrio (Neurocom ©) si avvantaggiano di questa lunga sperimentazione e propongono il BF visivo come terapia riabilitativa o allenamento sportivo. Il BF acustico ha invece ricevuto, fino ad ora, scarso interesse nonostante presenti potenziali vantaggi in termini di costi e portabilità rispetto a quello visivo (un semplice paio di cuffie acustiche sostituiscono un monitor). Questo studio mette a confronto il BF visivo e il BF acustico e mostra come entrambi siano in grado di indurre una riduzione delle oscillazioni posturali pur presentando interessanti differenze nelle strategie posturali che portano a tale riduzione.

Metodologia:

Otto soggetti sani giovani (età media 23 ± 3 anni) hanno partecipato a questo studio. Ogni soggetto ha mantenuto una postura ortostatica eretta su gommapiuma (4" TemperTM) ricevendo BF visivo o acustico delle accelerazioni antero-posteriore e medio-laterale rilevate all'altezza del tronco (Fig. 8; Chiari et al., 2005). Due codifiche delle accelerazioni, una basata su una funzione lineare e una su una funzione sigmoide, sono state impiegate sia per il BF visivo che per quello acustico (Fig. 9). Inoltre due condizioni di riferimento, una per il BF visivo (in cui la rappresentazione del BF era generata da una prova registrata in precedenza e scelta in modo casuale), e una per quello acustico (in cui non veniva restituito alcun suono), sono state testate per valutare gli effetti delle differenti codifiche e presentazioni del BF sulla postura dei soggetti. Cinque ripetizioni di ciascuna delle 6 condizioni per un totale di 30 prove della lunghezza di un minuto sono state eseguite da ogni soggetto durante l'esperimento; l'ordine delle prove è stato scelto

A. % 2D-Acceleration std changes while using BF



B. % 2D-COP std changes while using BF

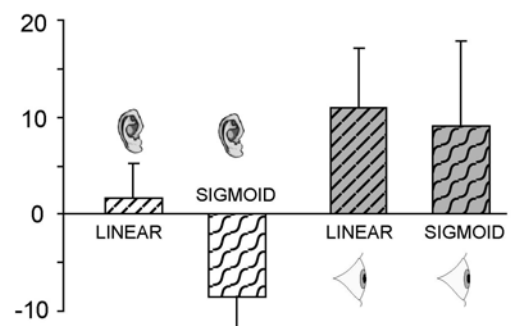


Fig. 10. Effetto dei biofeedback visuale e acustico presentati con codifica lineare e sigmoide sull'ampiezza dell'accelerazione (A) e dello spostamento del centro di pressione (B) planari.

casualmente. Per ogni prova sono state analizzate la deviazione standard delle accelerazioni e dello spostamento del centro di pressione. La significatività dei risultati è stata validata eseguendo una analisi di varianza a due fattori: (1) feedback visivo o acustico e (2) funzione di codifica lineare o sigmoidale.

Principali risultati e discussione.

In generale l'uso di BF ha comportato una riduzione della deviazione standard delle accelerazioni retroazionate. La codifica lineare del BF visivo si è rivelata più efficace della rispettiva codifica sigmoidale nell'indurre tale riduzione mentre si è riscontrato il risultato inverso per il BF acustico (Fig. 10A). Questo risultato mostra come sia il differente canale sensoriale (visivo o acustico) di rappresentazione della informazione di BF, che la differente codifica (lineare o sigmoidale) scelta possano influenzare l'efficacia del BF in termini di controllo sulla variabile retroazionata.

Solo l'uso di BF acustico con codifica sigmoidale ha indotto una riduzione anche sulla deviazione standard dello spostamento del centro di pressione (COP) (Fig. 10B). La coerenza fra il comportamento del COP e delle accelerazioni riscontrata testando il BF acustico con codifica sigmoidale è ben spiegata da un modello a pendolo inverso mentre, per spiegare il comportamento incoerente riscontrato testando il BF visivo, è necessario ricorrere a un modello multisegmentale. Conseguentemente, i soggetti sembrano favorire una strategia di caviglia in risposta al BF acustico con codifica sigmoidale mentre una strategia d'anca sembra essere favorita in risposta al BF visivo.

In conclusione, sia l'efficienza che la strategia di controllo della variabile retroazionata da un sistema a BF possono essere influenzate dalla sua codifica e rappresentazione.

Riferimenti Bibliografici:

- Hlavacka F, Litvinenkova V. First derivative of the stabilogram and posture control in visual feed-back conditions in man. *Agressologie*. 1973 Sep;14(Spec No C):45-9..
- Neurocom © Inc. - www.onbalance.com
- Chiari L., Dozza M., Cappello A, Horak FB, Macellari V., Giansanti D.: An accelerometry-based system for balance improvement using audio-biofeedback. *IEEE Trans Biomed Eng* 2005, in press.

4. Specificità della Risposta Posturale a una Informazione Audio-Biofeedback Specifica

(In fase di sottomissione con titolo "Direction Specificity of Audio-biofeedback for Postural Sway")

Metodologia:

Otto soggetti sani giovani (età media 33 ± 7 anni) hanno partecipato a questo studio. Ogni soggetto ha mantenuto una postura ortostatica eretta a occhi chiusi ricevendo l'informazione dell'ABF relativamente alle sole accelerazioni antero-posteriori (AP) o medio-laterali (ML) rilevate all'altezza del tronco (L5). I soggetti sono stati divisi in due gruppi. Il primo gruppo ha iniziato con 5 prove con ABF in direzione AP intervallate da 5 prove senza ABF e poi ha proceduto con 5 prove con ABF in direzione ML intervallate da 5 prove senza ABF. Il secondo gruppo ha eseguito i due task con ABF in ordine inverso (cross-over design). La durata delle prove è stata di 1 minuto. Per ogni prova sono state analizzate la deviazione standard delle accelerazioni in direzione AP e ML e la frequenza comprendente il 95 % della potenza dello spettro del centro di pressione (COP) indicata con F95% (Prieto et al., 1986) in direzione AP e ML.

Principali risultati e discussione.

1) L'uso di ABF in direzioni AP ha comportato una diminuzione delle oscillazioni posturali maggiormente nella direzione AP (Fig.11). L'uso di ABF in direzioni ML ha comportato una diminuzione delle oscillazioni posturali maggiormente nella direzione ML (Fig 12a).

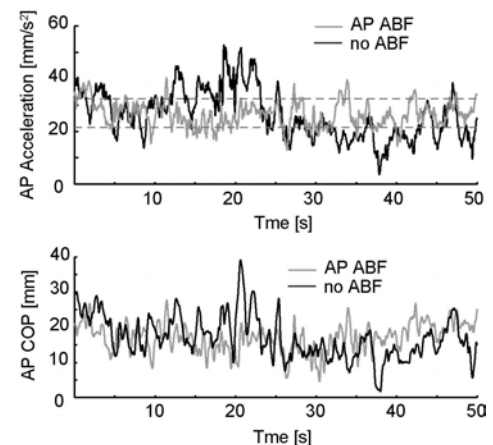


Fig 11. Effetto dell'ABF restituito nella direzione antero-posteriore (AP) su accelerazione e centro di pressione (COP) in direzione AP.

2) L'uso di ABF in direzioni AP ha comportato un aumento delle correzioni posturali maggiormente nella direzione AP. L'uso di ABF in direzioni ML ha comportato un aumento delle correzioni posturali maggiormente nella direzione ML (Fig 12b).

3) Una volta normalizzati i risultati ottenuti per i due ABF (uno nella sola direzione AP, l'altro nella sola direzione ML) si nota una simmetria quasi perfetta fra l'effetto dei due tipi di ABF nelle direzioni AP ed ML (Fig. 13).

I risultati 1, 2 e 3 assicurano che la risposta e la correzione posturale del soggetto avvengono principalmente nella direzione in cui il soggetto riceve l'informazione ABF. Conseguentemente anche questo risultato favorisce l'ipotesi che l'effetto dell'ABF (in termini di riduzione delle oscillazioni posturali) non sia dovuto a un generico meccanismo di irrigidimento ma, piuttosto, a un controllo volontario più accurato ed efficiente dei muscoli posturali. Questa ipotesi era già stata avanzata da Dozza et al., 2005a che aveva trovato una maggior componente closed-loop di controllo nella risposta posturale di 8 soggetti sani provvisti dell'informazione ABF. Ed è pure coerente con Dozza et al., 2005b che aveva mostrato come soggetti con severa patologia vestibolare riuscivano a trarre più vantaggio dall'ABF rispetto ai loro corrispettivi soggetti di controllo.

Riferimenti Bibliografici:

- Prieto TE, Myklebust JB, Hoffmann RG, Lovett EG, Myklebust BM. Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1996 Sep;43(9):956-66..
- Dozza M, Chiari L, Chan B, Rocchi L, Horak FB, Cappello A. Influence of a portable audio-biofeedback device on structural properties of postural sway. *J Neuroengineering Rehabil.* 2005a May 31;2:13.
- Dozza M, Chiari L, Horak FB. Audio-biofeedback improves balance in patients with bilateral vestibular loss. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005b Jul;86(7):1401-3.

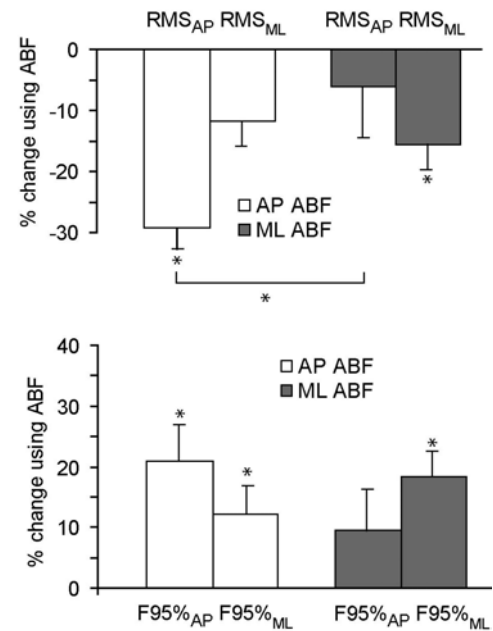


Fig 12. Effetto dell'ABF restituito in una specifica direzione (antero-posteriore, AP, o medio-laterale, ML) sull'ampiezza dell'accelerazione rilevata al tronco (RMS_{AP} e RMS_{ML}) e sulla banda di frequenza del COP (F95%_{AP} e F95%_{ML}).

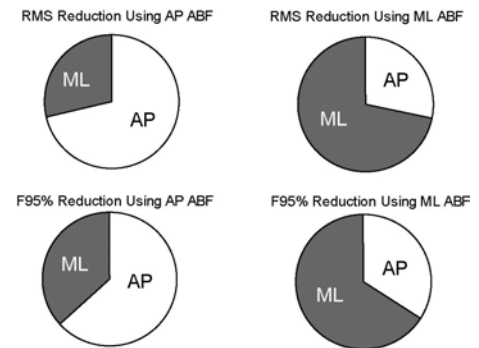


Fig 13. Effetto normalizzato dell'ABF restituito nella direzione specifica AP o ML su RMS e F95% in direzione AP e ML.

Partecipazione a conferenze nazionali:

- Conferenza della Società Italiana per l'Analisi del Movimento in Clinica (SIAMOC), 26-29 Ottobre 2005 - Tirrenia (PI).

Conferenze e seminari didattici:

- *Presenting your own research subjects*, seminario tenuto dalla Prof.ssa Sandra Oster, 9 e 16 Agosto 2005, presso il dipartimento OGI dell'Oregon Health & Science University, Portland OR, USA.
- *Engineering and Biomedical Issues in Vestibular Protheses*, seminario tenuto del Prof. Conrad Wall, III il 15 Settembre 2005 presso il Neurological Science Institute dell'Oregon Health & Science University, Portland OR, USA.
- *Models for human posture*, brainstorming tenuto da: Prof. R. Peterka, Prof. T. Mergner, Dr. H. Van der Kooij, il 10 Agosto, 2005.
- *XXIV Scuola Annuale di Bioingegneria*, Bressanone, 26-29 settembre 2005

Attività educativa a esposizioni scientifiche nazionali e internazionali tenutesi negli Stati Uniti:

- OMSI Brain Awareness 2005 – Marzo 14-20, 2005, Portland (OR)

Pubblicazioni apparse (o in fase di sottomissione/preparazione) su riviste internazionali riguardanti:

- **M. Dozza**, L. Chiari, B. Chan, L. Rocchi, F.B. Horak and A. Cappello, "Influence of a Portable Audio-Biofeedback Device on Structural Properties of Postural Sway", *J Neuroengineering Rehabil.*, vol.2:13, 31 May 2005.
- **M. Dozza**, L. Chiari and F.B. Horak, "Audio-biofeedback improves balance in patients with bilateral vestibular loss", *Arch. Phys. Med. Rehab.*, vol.86(7), pp. 1401-3, July 2005.
- L. Chiari, **M. Dozza**, A. Cappello, F.B. Horak, V. Macellari and D. Giansanti, "An accelerometry-based system for balance improvement using audio-biofeedback", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol.52(12), December 2005 (in stampa).
- **M. Dozza**, F.B. Horak and L. Chiari, "Auditory Biofeedback Substitutes for Loss of Sensory Information in Maintaining Stance", *Exp. Brain Res.* (sottomesso), August 2005.
- **M. Dozza**, F.B. Horak, L. Chiari and J. Frank, "Direction specificity of audio-biofeedback for postural sway", *Neuroscience Letters* (pronto alla sottomissione), October 2005.
- **M. Dozza**, L. Chiari, F.B. Horak and A. Cappello, "Effects of Biofeedback on Sway during quiet standing: Audio vs Visual Biofeedback" (in preparazione).

Pubblicazioni su atti di conferenze nazionali e internazionali:

- **Dozza M.**, Cappello A., Horak F.B., Chiari L., "How Audio-biofeedback of Trunk Acceleration Affects Feed-forward and Feed-back Control of Posture", *Gait & Posture*, vol. 20(Suppl.2) pp. S123-124, 2004
- Horak F.B., **Dozza M.**, Peterka R., and Chiari L., "What do subjects learn from audio-biofeedback for postural verticality?", *Proc. Neural Control of Movement*, Barcelona, March 2004
- **Dozza M.**, Chiari L., Horak F.B., "A Portable Audio-biofeedback System to Improve Postural Control", *Proc. 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, San Francisco, September 1-5, 2004
- **Dozza M.**, Horak F.B., Chiari L., "Audio Biofeedback of trunk acceleration improves balance in subjects with bilateral vestibular loss", *Proc. 28th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics*, Portland, September 8-11, 2004.
<http://www.x-cd.com/biomech04/pdfs/368.pdf>
- Chiari L., **Dozza M.**, Cappello A., and Horak F.B., "Influence of audio feedback on structural properties of postural sway", *Proc. XVth Congress of the International Society of Electrophysiology & Kinesiology*, Boston, June 18-21, 2004, p.246.
- **M. Dozza**, L. Chiari, A. Cappello, and F.B. Horak, "Visual vs audio biofeedback for the control of upright posture", *Gait & Posture*, (in press).
- D. Giansanti, L. Chiari, V. Macellari, G. Maccioni, **M. Dozza**, and A. Cappello, "Energetic assessment of trunk postural modifications induced by an audio-biofeedback system", *Gait & Posture*, (in press).
- F.B. Horak, **M. Dozza**, and L. Chiari, "Audio-biofeedback of trunk sway compensates for lack of vestibular, somatosensory, or visual information", *Proc. ACRM-ASNR joint Conference*, Chicago, September 28-October 2, 2005

Premi e riconoscimenti:

- 1° premio, VI Design-In Award: per il progetto "Biofeedback Wireless Wearable System" (Progetto applicativo elettronico più innovativo nel settore delle Sensor Network, Fortronic 2005, www.design-inaward.tecnoinprese.it)
- 2° posto per il premio AURION, per la presentazione "Visual vs Audio Biofeedback for the Control of Upright Posture" al congresso SIAMOC tenutosi a Tirrenia (PI), Ottobre 2005.