



**SANTA LUCIA**  
NEUROSCIENZE  
E RIABILITAZIONE

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA**  
**"TOR VERGATA"**  
**FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA**  
**CORSO DI LAUREA I LIVELLO IN FISIOTERAPIA**

*Presidente del corso: Prof. Pasquale Farsetti*

*Direttore di sede: Dott. Marco Tramontano*

*Sede: Fondazione Santa Lucia I.R.C.C.S.*

**SONICWALK: NEURORIABILITAZIONE DEL CAMMINO**  
**ASSOCIATO A TECNICHE DI SONIFICAZIONE IN**  
**PAZIENTI CON PATOLOGIE NEUROLOGICHE.**

**Relatori:**

**Dott. Tramontano Marco**

**Dott.ssa Mastrogiacomo Sara**

**Candidato:**

**Piatti Diego**

**Anno Accademico 2020/2021**

# SONICWALK: NEURORIABILITAZIONE DEL CAMMINO ASSOCIATO A TECNICHE DI SONIFICAZIONE IN PAZIENTI CON PATOLOGIE NEUROLOGICHE.

## *Abstract*

### INTRODUZIONE

La musicoterapia è ampiamente utilizzata in neuroriabilitazione per la sua azione sulle aree limbiche, paralimbiche e sulle aree cerebrali implicate nel movimento (area motoria, area motoria supplementare, cervelletto, gangli della base, etc). Inoltre, l'utilizzo di tecniche musicoterapiche può indurre cambiamenti plastici nel cervello sia nell'età dello sviluppo sia nell'età adulta (Tramontano, 2021; Schlaug, 2009; Altenmuller, 2009). Tali cambiamenti coinvolgono le aree motorie e i circuiti uditivi e uditivo-sensomotori (Bangert & Altenmuller, 2003; Bangert et al, 2006; Meyer et al., 2007; Bauman et al., 2007) anche grazie al fatto che il suono e la musica facilitano connessioni tra aree cerebrali che, senza questa specifica stimolazione, non verrebbero attivate. Come suggerisce Schlaug (2009) i cambiamenti plastici indotti dalla musica nei punti nodali delle reti cerebrali possono determinare effetti che tendono a protrarsi anche oltre la durata effettiva dell'intervento riabilitativo.

Ad oggi i supporti informatici e ingegneristici sono in grado di garantire un lavoro basato su continui feedback al paziente, con il fine di favorire l'apprendimento del gesto motorio su cui si sta lavorando. Tali feedback possono essere visivi, tattili, ma anche uditivi (Kyoung-Sim Jung, 2020). Sarà anche possibile unire più tipologie di feedback (ad esempio visivo e uditivo insieme), con il fine di favorire l'apprendimento del task da parte del paziente.

Molti studi documentano come l'utilizzo della musica in neuroriabilitazione possa migliorare la deambulazione, il movimento degli arti superiori, il linguaggio, ma anche l'umore e altri aspetti psicologici, ma solo studi più recenti utilizzano feedback sonori con il fine di promuovere la realizzazione di un movimento con correzioni istantanee. Sul medesimo rationale è già stato realizzato il progetto "SonicHand", rivolto nello specifico ai movimenti fini dell'arto superiore (Raglio, 2021).

Con questa prospettiva, tale studio indaga l'efficacia di un training neuroriabilitativo basato su feedback sonori, melodici, armonici e musicali durante tasks motori dinamici nella rieducazione della deambulazione in pazienti con diagnosi di Sclerosi Multipla in fase stabile o Stroke cronico (più di 6 mesi dall'evento). Outcomes secondari sono quelli di valutare l'impatto del trattamento nel miglioramento della qualità di vita e della fatica percepita dal paziente.

### MATERIALI E METODI

Il progetto si inserisce all'interno di uno studio multicentrico randomizzato controllato che coinvolge, oltre la Fondazione Santa Lucia I.R.C.C.S., l'I.C.S. Maugeri I.R.C.C.S. di Pavia, Nervi, Lissone, Milano e Montescano e la Clinica San Martino di Genova; inoltre ha partecipato allo studio il Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria del Policlinico di Milano.

Nello specifico, presso la Fondazione Santa Lucia I.R.C.C.S. sono stati inclusi nello studio 11 pazienti, allocati in 2 gruppi (sperimentale e controllo). Il gruppo sperimentale ha svolto training con feedback mediante tecnica di sonificazione, realizzati tramite l'utilizzo di due sensori inerziali (Xsens, Xsens Technologies B.V., The Netherlands) posti sulle caviglie dei pazienti. Attraverso un software home-made sviluppato appositamente per lo studio, il contatto iniziale del tallone con il terreno per ciascuna fase di appoggio viene individuato e registrato in tempo reale. Ciascun singolo appoggio induce la riproduzione dello stimolo musicale nelle cuffie del paziente. Il susseguirsi dei passi ha come effetto la generazione di una sequenza

musicale che sarà tanto più regolare e prevedibile quanto più gli appoggi saranno corretti e regolari. L'obiettivo è quello di promuovere la correzione dei movimenti dei pazienti istantaneamente. Ciò è possibile grazie alla tecnica della "Real Time Sonification": dopo una prima fase di "Entrainment", dove la musica non viene modificata secondo la qualità del passo, quindi utile a far memorizzare il ritmo al paziente, diventa il paziente stesso a creare la melodia in tempo reale.

Al contrario il gruppo controllo ha svolto training convenzionali per il miglioramento dello schema del passo e della stabilità posturale dinamica senza feedback melodici.

Al fine di valutare il reale impatto del suono e della musica nella correzione dello schema del passo e nel miglioramento dell'equilibrio, gli esercizi proposti ai pazienti dei due gruppi sono basati sul medesimo rationale. In questo senso, l'obiettivo è stato mantenere come unica differenza tra i due gruppi l'utilizzo del feedback sonoro. I tasks motori proposti come esercizio terapeutico vertono sia sulla scomposizione delle varie fasi del passo, sia sulle capacità del paziente di mantenere una valida stabilità posturale durante condizioni dinamiche come la marcia sul posto o la deambulazione.

Sono state effettuate valutazioni in tre tempi tramite scale cliniche validate per il cammino, l'equilibrio, la qualità di vita e la fatica percepita. In aggiunta è stata indagata la fatica percepita tramite scala VAS modificata al termine di ogni seduta. Le valutazioni T1, T2 e T3 sono state fatte rispettivamente prima dell'inizio dei trattamenti (T1), dopo 10 sedute (T2) e dopo ulteriori 10 sedute (T3). La durata totale del protocollo vede quindi tre valutazioni e venti sedute per entrambi i gruppi, con una cadenza trisettimanale. La durata di ogni trattamento è mediamente di 50 minuti totali.

## RISULTATI

Si sono osservati miglioramenti statisticamente significativi nella valutazione di alcune scale cliniche che analizzano i parametri motori (Dynamic Gait Index, Mini BESTest, Scala Tinetti) maggiori nel gruppo sperimentale rispetto al gruppo controllo. Queste scale di valutazione permettono una valutazione qualitativa della stabilità posturale sia in condizioni di statica sia di dinamica. Si considera di fondamentale importanza che queste scale di valutazione siano anche predittive del rischio di caduta del paziente, parametro molto importante in relazione alla qualità di vita.

Miglioramenti statisticamente significativi sono stati riscontrati anche nell'analisi della "Modified Barthel Index".

Scale	Gruppo	T1		T2		T3	
		Media	Dev.Std	Media	Dev.Std	Media	Dev.Std
DGI	Controllo	17.00	1.41	19.50	4.95	20.00	4.24
	Sperimentali	19.63	3.07	21.75	2.31	22.38	1.60
MiniBesTest	Controllo	18.50	0.71	21.50	2.12	23.00	1.41
	Sperimentali	22.50	3.51	23.50	3.07	24.25	3.20
Tinetti	Controllo	21.50	2.12	24.00	4.24	24.00	4.24
	Sperimentali	25.38	2.00	25.88	1.81	26.00	2.00
BIM	Controllo	99.50	0.71	98.50	0.71	96.50	2.12
	Sperimentali	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00

Fig. 1

Inoltre l'analisi statistica ha mostrato un incremento nel punteggio delle voci "benessere fisico" e "benessere psicologico" del questionario MQOL nel gruppo sperimentale.

## CONCLUSIONI

La sonificazione può essere considerata un valido strumento complementare al percorso terapeutico convenzionale, utile a migliorare la deambulazione, l'equilibrio e la qualità di vita in relazione alle attività

quotidiane in pazienti con patologie neurologiche. A riguardo si ritiene importante sottolineare la popolazione presa in esame, quindi con patologia stabile o cronica, che rende più complesso ottenere miglioramenti nelle autonomie in relazione alle ADL in 20 sedute di trattamento neuromotorio, considerando soprattutto che i pazienti inclusi nello studio erano, già alla valutazione iniziale, autonomi nelle attività di vita quotidiana, avendo punteggi nelle scale cliniche alla prima valutazione mediamente elevati.

I training proposti, che hanno portato a miglioramenti nell'equilibrio e nella stabilità posturale, sono esclusivamente training dinamici.

Si ritiene necessario ampliare il campione dello studio anche per garantire l'omogeneità, così da poter condurre anche un'analisi statistica in riferimento a ogni patologia.

Inoltre potrebbe essere utile inserire anche valutazioni strumentali per analizzare la stabilità posturale dinamica durante tasks motori con un'analisi quantitativa del movimento, realizzata mediante sensori inerziali o tramite gait analysis.

## **BIBLIOGRAFIA**

Tramontano M, De Angelis S, Mastrogiacomo S, Princi AA, Ciancarelli I, Frizziero A, Iosa M, Paolucci S, Morone G. Music-based techniques and related devices in neurorehabilitation: a scoping review, *Expert Rev Med Devices*. 2021 Aug;18(8):733-749., doi.org/10.1080/17434440.2021.1947793;

Schlaug G. Part VI introduction: listening to and making music facilitates brain recovery processes. *Ann N Y Acad Sci*. 2009;1169:372-3;

Altenmüller E, Marco-Pallares J, Munte TF, Schneider S. Neural reorganization underlies improvement in stroke-induced motor dysfunction by music-supported therapy. *Ann N Y Acad Sci*. 2009;1169:395-405;

Bangert M, Altenmüller E. Mapping perception to action in piano practice: a longitudinal DC-EEG-study. *BMC Neurosci*. 2003;4: 26–36;

Bangert M et al. Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: evidence from fMRI conjunction. *NeuroImage*. 2006;30: 917–926;

Meyer M et al. Short-term plasticity in the auditory system: differential neural responses to perception and imagery of speech and music. *Restor. Neurol. Neurosci*. 2007;25: 411–431;

Baumann S et al. A network for audio-motor coordination in skilled pianists and nonmusicians. *Brain Res*. 2007;1161: 65–78;

Kyoung-Sim Jung et al., Gait training with auditory feedback improves trunk control, muscle activation and dynamic balance in patients with hemiparetic stroke: A randomized controlled pilot study, *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2020;33(1):1-6.

Alfredo Raglio, Monica Panigazzi, Roberto Colombo, Marco Tramontano, Marco Iosa, Sara Mastrogiacomo, Paola Baiardi, Daniele Molteni, Eleonora Baldissarro, Chiara Imbriani, Chiara Imarisio, Laura Eretti, Mehrnaz Hamedani, Caterina Pistarini, Marcello Imbriani, Gian Luigi Mancardi & Carlo Caltagirone. Hand rehabilitation with sonification techniques in the subacute stage of stroke, *Scientific Reports*, 2021; 11:7237

# SONICWALK: NEURORHEABILITATION FOR A PROPER WALKING ASSOCIATED WITH “SONIFICATION” TECHNIQUES IN PATIENTS WITH NEUROLOGICAL DISEASES.

## *Abstract*

### CONTEXT

Music therapy is widely used in neurorehabilitation due to its action on limbic, paralimbic and brain areas involved in movement (motor area, supplementary motor area, cerebellum, basal ganglia, etc.). Furthermore, music therapy techniques can induce plastic changes in brain, both in the age of development and adulthood (Tramontano 2021, Schlaug, 2009; Altenmuller, 2009). These changes involve motor areas as well as auditory and auditory-sensorimotor circuits (Bangert & Altenmuller, 2003; Bangert et al., 2006; Meyer et al., 2007; Bauman et al., 2007). This is also because sound and music facilitate brain area connections that would not be activated without this specific stimulation. Plastic changes induced by music in nodal point brain networks can determine effects that might even last beyond the actual duration of the rehabilitation intervention (Schlaug, 2009).

Today, computer and engineering aids can guarantee work based on continuous feedback to patients, to encourage the learning of the motor gesture being worked on. Such feedback can be visual, tactile, but also auditory (Kyoung-Sim Jung, 2020). It will also be possible to combine several types of feedback (e.g. visual and auditory together), to facilitate patients' learning tasks.

Sonification techniques have already proven to be effective in neurorehabilitation in improving various aspects of both motor (not only in relation to gait, but also upper limb function) and perceived fatigue and quality of life, but only more recent studies have used sonification as feedback to promote movement realization and instant movement correction (Raglio, 2021).

This study aimed to investigate the effects of music-based sonification training on balance and gait in patients with Multiple Sclerosis (MS) and in patients with stroke in chronic phase (> 6 months after the event). The secondary aim was to assess the impact of this training on the patients' quality of life and perceived fatigue.

### METHODS

The project is part of a multicenter randomized controlled trial involving Fondazione Santa Lucia I.R.C.C.S., I.C.S. Maugeri I.R.C.C.S. of Pavia, Nervi, Lissone, Milan and Montescano and the San Martino Clinic of Genoa; the Department of Electronics, Information and Bioengineering of the Policlinico of Milan also participated in the study.

Specifically, at Fondazione Santa Lucia I.R.C.C.S., 11 patients have been included in the study, allocated into 2 groups (experimental and control). Patients in the experimental group have been submitted to a training session during which a sonification technique has been used. The sonification has been realized through the use of two inertial sensors (Xsens, Xsens Technologies B.V., The Netherlands) placed on the patients' ankles. The initial contact of the heel with the ground has been detected and recorded for each stance phase in real time, using a home-made software specifically developed for the study. Each individual stance musical stimulus playback in the patient's headphones. Strides succession generated a musical sequence. The more regular and predictable the sequence was the more correct and regular stances were. The aim was to promote patients' movement correction instantaneously.

This was possible thanks to the "Real Time Sonification" technique: after an initial "Entrainment" phase, where the music wasn't modified according to gait quality (with the unique purpose to let the patient memorize rhythm) it was the patient himself to create a real-time melody.

In contrast, the control group performed conventional training to improve gait patterns and dynamic postural stability without melodic feedback.

Exercises proposed to both groups of patients are based on the same rationale to assess sound's and music's real impact on correcting gait patterns and improving balance; the only difference between the two groups was the use of sound feedback. Motor tasks proposed as therapeutic exercise focus both on the decomposition of the various step phases and on the patient's ability to maintain valid postural stability during dynamic conditions such as walking in place or ambulation.

Three-time assessments have been carried out using validated clinical scales against gait, balance, quality of life and perceived fatigue. In addition, at the end of each session, perceived fatigue has been investigated using a modified VAS scale. T1, T2 and T3 assessments have been made before treatment starts (T1), after 10 sessions (T2) and after further 10 sessions (T3), respectively. Thus, with a three-weekly cadence, the protocol's total duration included three assessments and twenty sessions for both groups. Each treatment lasted in a total timeframe of around 50 minutes.

## RESULTS

Statistically, significant improvements were observed in the experimental group compared with the control group during assessments of the clinical scales that analyse motor parameters (Dynamic Gait Index, Mini BESTest, Tinetti Scale).

These scales allow a quantitative assessment of postural stability in both static and dynamic conditions.

It is of fundamental importance that these assessment scales are also predictive of a patient's risk of falling, a very important parameter concerning the quality of life.

Statistically, significant improvements were also found in the analysis of the Modified Barthel Index.

Scale	Group	T1		T2		T3	
		Score	Dev.Std	Score	Dev.Std	Score	Dev.Std
DGI	Control	17.00	1.41	19.50	4.95	20.00	4.24
	Experimental	19.63	3.07	21.75	2.31	22.38	1.60
MiniBesTest	Control	18.50	0.71	21.50	2.12	23.00	1.41
	Experimental	22.50	3.51	23.50	3.07	24.25	3.20
Tinetti	Control	21.50	2.12	24.00	4.24	24.00	4.24
	Experimental	25.38	2.00	25.88	1.81	26.00	2.00
BIM	Control	99.50	0.71	98.50	0.71	96.50	2.12
	Experimental	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00

Fig. 1

Furthermore, the statistical analysis showed an increase in the score of the "physical well-being" and "psychological well-being" items (see MQOL questionnaire in the experimental group).

## CONCLUSION

Music-based sonification training could be considered a useful complementary strategy of balance and gait rehabilitation. Our results showed also a positive effect on the quality of life during daily activities in patients with MS and stroke. Furthermore, patients enrolled in our sample suffer from stable or chronic pathologies,

therefore, making it more difficult to obtain improvements in functional motor ability in 20 sessions of neuromotor treatment.

The proposed training, which led to improvements in balance and postural stability, was exclusively dynamic. Further studies with a bigger and homogenous sample are needed to confirm our results.

Instrumental assessment of the gait and dynamic postural stability performed through inertial sensors and/or gait analysis should be used complementary to quantify the improvement of motor ability in patients with neurological diseases.

## REFERENCES

- Tramontano M, De Angelis S, Mastrogiacomo S, Princi AA, Ciancarelli I, Frizziero A, Iosa M, Paolucci S, Morone G. Music-based techniques and related devices in neurorehabilitation: a scoping review. *Expert Rev Med Devices*. 2021 Aug;18(8):733-749;
- Schlaug G. Part VI introduction: listening to and making music facilitates brain recovery processes. *Ann N Y Acad Sci*. 2009;1169:372-3;
- Altenmuller E, Marco-Pallares J, Munte TF, Schneider S. Neural reorganization underlies improvement in stroke-induced motor dysfunction by music-supported therapy. *Ann N Y Acad Sci*. 2009;1169:395-405;
- Bangert M, Altenmuller E. Mapping perception to action in piano practice: a longitudinal DC-EEG-study. *BMC Neurosci*. 2003;4: 26–36;
- Bangert M et al. Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: evidence from fMRI conjunction. *NeuroImage*. 2006;30: 917–926;
- Meyer M et al. Short-term plasticity in the auditory system: differential neural responses to perception and imagery of speech and music. *Restor. Neurol. Neurosci*. 2007;25: 411–431;
- Baumann S et al. A network for audio-motor coordination in skilled pianists and nonmusicians. *Brain Res*. 2007;1161: 65–78;
- Kyoung-Sim Jung et al. Gait training with auditory feedback improves trunk control, muscle activation and dynamic balance in patients with hemiparetic stroke: A randomized controlled pilot study, *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2020;33(1):1-6.
- Alfredo Raglio, Monica Panigazzi, Roberto Colombo, Marco Tramontano, Marco Iosa, Sara Mastrogiacomo, Paola Baiardi, Daniele Molteni, Eleonora Baldissarro, Chiara Imbriani, Chiara Imarisio, Laura Eretti, Mehrnaz Hamedani, Caterina Pistarini, Marcello Imbriani, Gian Luigi Mancardi & Carlo Caltagirone. Hand rehabilitation with sonification techniques in the subacute stage of stroke, *Scientific Reports*, 2021; 11:7237