

Marco Iosa^{1,2}, Edda Capodaglio³, Benedetta Persechino⁴, Silvia Pelà³, Sheida Ghanbari Ghooshchy^{1,2},
Marco Tramontano^{2,5}, Giovanni Morone², Stefano Paolucci², Domenico De Angelis², Monica Panigazzi^{3,6}

La valutazione strumentale della coordinazione visuomotoria dei pazienti con ictus dopo neuroriabilitazione

¹ Department of Psychology, Sapienza University of Rome, Italy

² IRCCS Fondazione Santa Lucia, Rome, Italy

³ Istituti Clinici Scientifici Maugeri IRCSS, Occupational Therapy and Ergonomics Unit, Pavia (Italy)

⁴ Italian Workers' Compensation Authority (INAIL), Department of Occupational and Environmental Medicine, Epidemiology and Hygiene, Monte Porzio Catone Rome, Rome, Italy

⁵ Department of Movement, Human and Health Sciences, University of Rome "Foro Italico", Interuniversity Centre of Bioengineering of the Human Neuromusculoskeletal System, Rome, Italy

⁶ Istituti Clinici Scientifici Maugeri IRCSS, Occupational Therapy and Ergonomics Unit, Pavia and Montescano (Italy)

RIASSUNTO. L'analisi strumentata del movimento permette di ottenere dati quantitativi e quindi oggettivi riguardo la mobilità e la coordinazione visuomotoria dei pazienti con ictus. Questa fornisce anche la possibilità di prognosi dei risultati della neuroriabilitazione, persino in termini di identificazione di pazienti che saranno in grado di tornare al lavoro. La grande mole di dati fornita dall'analisi strumentata del movimento può essere da un lato un'opportunità, ma dall'altro richiede uno sforzo computazionale. Lo sviluppo di reti neurali artificiali potrebbe supportare i clinici nel gestire questi dati. In questo studio abbiamo analizzato la coordinazione visuomotoria di 16 pazienti con ictus e 18 soggetti sani di pari età durante un compito specifico effettuato separatamente dai due arti superiori calcolando l'indice di asimmetria per ciascuno dei parametri estratti da una unità di misura inerziale collocata sul dorso della mano. La rete neurale artificiale ha dimostrato un'accuratezza del 94.1% nell'identificazione dei soggetti abili al lavoro. L'uso combinato di sensori indossabili leggeri sviluppati per l'analisi del movimento umano e le reti neurali artificiali può fornire una prognosi accurata della possibilità di ritorno al lavoro dei pazienti con ictus dopo neuroriabilitazione e probabilmente anche consentire il monitoraggio delle attività lavorative in termini di ergonomia.

Parole chiave: misure inerziali, ritorno al lavoro, mano, intelligenza artificiale, rete neurale.

ABSTRACT. INSTRUMENTED ASSESSMENT OF VISUOMOTOR COORDINATION IN PATIENTS WITH STROKE AFTER NEUROREHABILITATION. Instrumented movement analysis allows to obtain quantitative and hence objective data about the mobility and the visuomotor coordination of patients with stroke. It also provides the possibility to predict the outcome of neurorehabilitation even in terms of identification of patients able to return to work. The wide amount of data provided by instrumental movement analysis could be an opportunity on one hand, but also required a great computational effort on the other hand. The development of artificial neural network could help clinicians in managing these data. In this study we analysed the visuomotor coordination of 16 patients with stroke and 18 age-matched healthy subjects during a task separately performed by each upper limb and assessing the asymmetry index for each one of the parameters extracted by an inertial measurement unit placed on the dorsal part of the hand. The artificial neural network showed an

Introduzione

La valutazione del paziente con ictus è spesso basata sull'uso di scale cliniche dalle quali si ottengono misure ordinali che possono risentire di una bassa ripetibilità inter- e intra-operatore, di una ridotta specificità (ovvero la capacità di identificare correttamente pattern fisiologici), e di una ridotta sensibilità (ovvero la capacità di identificare correttamente pattern patologici) (1). Tali riduzioni sono specialmente evidenti agli estremi della scala stessa, secondo quello che è comunemente chiamato effetto soffitto-pavimento per il quale tutti i pazienti lievi ricevono uno dei punteggi estremi della scala, e tutti i pazienti molto gravi ricevono l'altro estremo, senza la capacità di discriminare differenze all'interno di questi due gruppi (2).

I punteggi delle scale sono tuttavia utili per inquadrare il paziente con ictus e anche per poter fare una prognosi accurata (3).

Quando però l'outcome è particolarmente specifico, come ad esempio relativo alla riduzione del rischio di caduta (4) o alla possibilità che il soggetto torni a lavorare (5) servono strumenti più sensibili e misure più oggettive per la valutazione del paziente.

L'analisi strumentale del movimento negli ultimi tre decenni ha permesso di estrarre indici oggettivi relativi al movimento del paziente. Essa consiste nell'uso di tecniche di misurazione che si avvalgono di sensori per quantificare pattern di movimento relativi alla cinematica o alla dinamica articolare o al posizionamento delle estremità corporee, quali mani, piedi o testa. I primi laboratori di analisi del movimento sfruttavano sistemi stereofotogrammetrici, anche detti optoelettronici, per far conoscere al computer il posizionamento nello spazio di marcatori attivi (emettitori di luce, di solito infrarossa per non dare fastidio al paziente) o passivi (riflettenti luce infrarossa), spesso combinati con pedane (per gli arti inferiori) o sensori (per gli arti superiori) di forza per la valutazione della dinamica articolare, e con sistemi elettromiografici per la misurazione dell'attività muscolare (6).

accuracy of 94.1% in identifying the subjects able to work. The combined use of light wearable sensors developed for human movement analysis and artificial neural networks could provide an accurate prognosis of the possibility to return to work of patients with stroke after neurorehabilitation and probably also of the monitoring of working activities in terms of ergonomics.

Key words: inertial measurement, return to work, hand, artificial intelligence, neural network.

Questi sistemi sono comunque costosi, ingombranti e non semplici da utilizzare. Per questo negli ultimi anni sono stati sviluppati molti sistemi indossabili basati su sensori wireless conosciuti come IMU, unità di misura inerziali, così chiamati perché i sensori al loro interno solitamente sono un accelerometro triassiale e un giroscopio triassiale che sfruttano l'inerzia del movimento per effettuare le misure (spesso al loro interno vi è anche un magnetometro utile a definire un sistema di riferimento assoluto con un asse che punta verso il nord terrestre) (7). Questi strumenti hanno il vantaggio di essere piccoli, portatili, poco costosi e semplici da utilizzare (7). La portabilità all'esterno del laboratorio di analisi di misura li ha resi facilmente utilizzabili sul campo, sia quello sportivo per l'analisi del movimento di atleti (8), che quello lavorativo per analisi dell'ergonomia (9).

Gli IMU hanno comunque trovato spazio anche nei centri ospedalieri di neuroriabilitazione (7). Da dieci anni sono utilizzati per una rapida analisi del cammino nel paziente con ictus, spesso focalizzata sulla stabilità dinamica del tronco durante l'atto locomotorio, un aspetto fondamentale per poter predire il rischio di caduta (10). Un punto di forza che però al tempo stesso è stato anche una complicazione dei sistemi strumentali di analisi del movimento è la mole di dati che essi forniscono e che bisogna saper gestire. Recentemente, lo sviluppo di sistemi di intelligenza artificiale ha permesso di gestire questa mole di dati in uscita da questi sistemi anche per predire l'outcome neuroriabilitativo (11) e persino la possibilità del soggetto colpito da ictus in età lavorativa di tornare al lavoro (12).

Un recente studio del nostro gruppo, ha mostrato che un IMU collocato sul tronco del soggetto durante il cammino era in grado di predire accuratamente se il paziente era dotato di un'autonomia tale da poter tornare al lavoro (5).

Lo scopo di questo studio è verificare se l'uso di un sensore inerziale collocato stavolta sull'arto superiore del soggetto durante un compito di coordinazione visuomotoria svolto al tavolo da lavoro sia in grado di cogliere le differenze tra pazienti con ictus e soggetti sani di pari età, e tra pazienti in grado e quelli non in grado di tornare al lavoro dopo la neuroriabilitazione. Analogamente a quanto fatto nel precedente studio (5), si è voluto inoltre dare i dati in uscita dall'IMU in ingresso ad una rete neurale artificiale per poter classificare in modo accurato i pazienti con ictus in grado di lavorare.

Materiali e Metodi

Partecipanti

In questo studio sono stati arruolati 34 soggetti in età lavorativa: 16 pazienti con ictus e 18 soggetti sani, non significativamente diversi per età (53.6 ± 13.6 anni vs. 45.0 ± 13.3 anni, $p=0.071$). Per i pazienti, il tempo medio trascorso dall'evento acuto era di 18.3 ± 16.5 mesi, 7 di loro erano tornati al lavoro (43.7%). Lo studio è stato approvato dal Comitato Etico della Fondazione Santa Lucia e tutti i soggetti hanno firmato il consenso informato per partecipare allo studio.

Task

Il test è consistito in una valutazione strumentale della coordinazione visuomotoria attraverso l'uso di un IMU (G-Walk, BTS, Padova) collocato sul dorso della mano. Il soggetto era seduto su una sedia con supporto lombare (sedile regolabile in altezza in modo che i piedi poggiassero a terra e le ginocchia fossero flesse a 90°) ad un banco da lavoro (ad altezza regolabile posizionato in modo tale che risultasse all'altezza del gomito del soggetto seduto) con gli arti superiori poggiati sul banco. Il posizionamento del soggetto era stato fatto in analogia con quanto definito dalla UNI EN ISO 14738:2004 sull'uso in sicurezza dei macchinari. Il soggetto eseguiva il test con una mano per volta. Il singolo task durava 2 minuti e richiedeva di prendere e spostare un oggetto tra due posizioni segnate sul banco a tempo con un metronomo elettronico settato ad una frequenza di 16 battiti per minuto (bpm), come mostrato nel pannello in alto a sinistra della Figura 1. Tale task era stato pensato in accordo alla UNI EN ISO 1005-5:2007 in modo che presentasse un livello di rischio accettabile connesso alla movimentazione ripetitiva ad alta frequenza. Un sensore inerziale (Gwalk, BTS, contenente un accelerometro triassiale e un giroscopio triassiale) era fissato al dorso della mano del soggetto immediatamente sotto al processo stiloideo ulnare, in modo da lasciare libero il movimento di flesso-estensione. L'oggetto era un cilindro (altezza 9cm, diametro 5cm, peso 250g) e nel task si richiedeva di prenderlo con una mano da un punto A, sollevarlo e spostarlo fino al punto B (distante 0.45m in direzione controlaterale e 0.2m in direzione frontale), dove andava appoggiato e ritornare con la mano nella posizione iniziale di riposo, per poi ripartire al ritmo del metronomo prendendo l'oggetto dal punto B e riportandolo in A, e di ripetere il compito per 2 minuti. Tale tipo di compito è stato scelto in quanto coinvolgeva grasping e reaching, ovvero la presa, i movimenti di allontanamento e quelli di avvicinamento.

Analisi dati

Come mostrato in Figura 1, il sensore inerziale forniva in uscita, lungo i tre assi anatomici le tre accelerazioni, le tre velocità angolari e i valori di cinematica angolare di pitch, roll e yaw. È stato calcolato il Root Mean Square di tali segnali ai quali era stata precedentemente sottratta la media per ciascun asse (10). Si è poi calcolato l'indice di

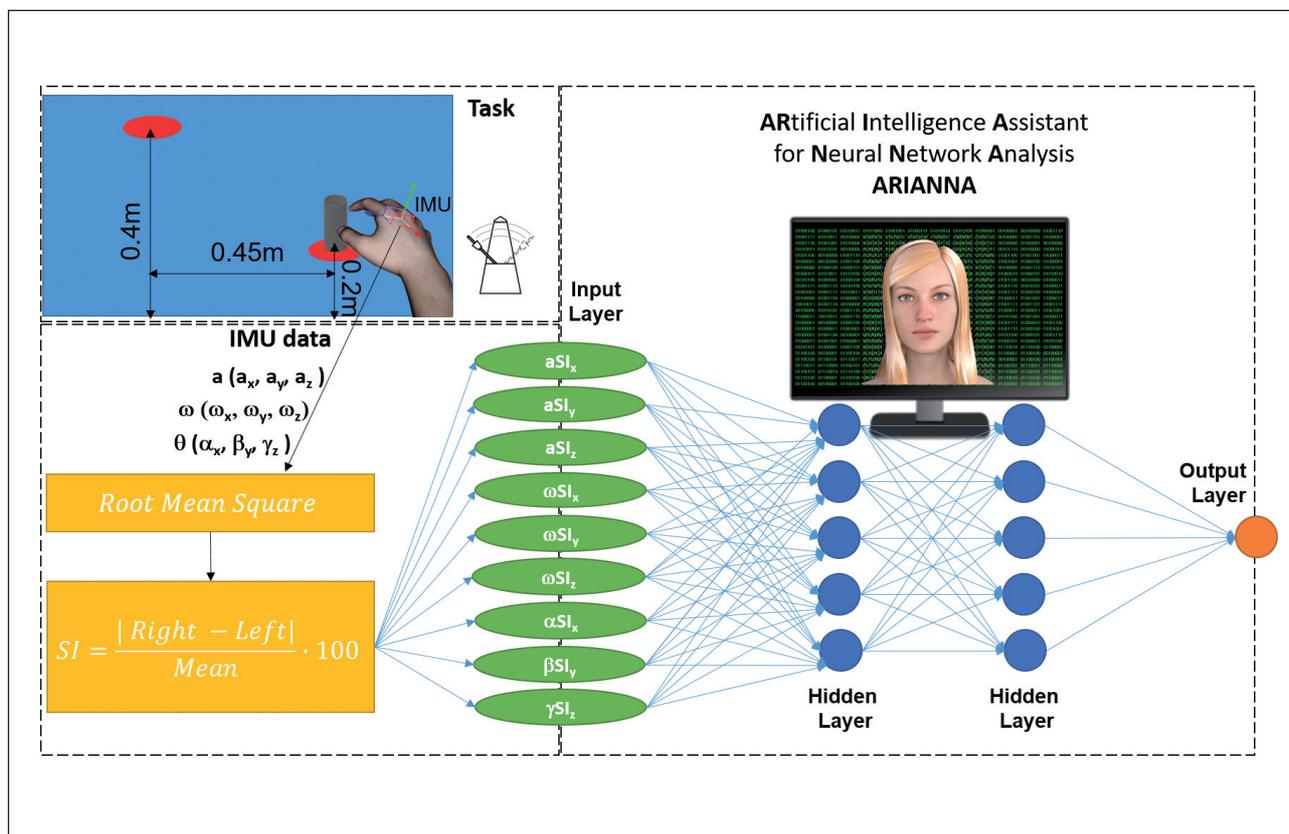


Figura 1. *Rappresentazione schematica dello studio. In alto a sinistra il task con lo spostamento del cilindro tra due posizioni (evidenziate in rosso) su un tavolo di lavoro al tempo di un metronomo. In basso a sinistra dai dati estratti dell’IMU vengono calcolati prima il Root Mean Square e poi l’indice di Simmetria. I nove indici di simmetria (per i tre assi dell’accelerazione a, della velocità angolare ω e dell’orientamento θ) calcolati dal paragone tra arto sinistro e arto destro vengono poi dati in pasto alla rete neurale ARIANNA che fornirà un output relativo alla classificazione del soggetto come abile o meno al lavoro*

simmetria (Symmetry Index, con 0% che rappresenta la perfetta simmetria) come rapporto percentuale tra il valore assoluto della differenza tra i valori calcolati per i due arti e la loro media (12).

L’indice di simmetria è stato dapprima confrontato semplicemente tra soggetti sani e pazienti con ictus (mediante t-test di Student) e poi tra tre gruppi: soggetti sani, pazienti con ictus rientrati al lavoro e pazienti non rientrati al lavoro (analisi di varianza a misure ripetute, seguita da post-hoc ai quali è stata applicata la correzione di Bonferroni).

È stata poi utilizzata una rete neurale artificiale per valutare la capacità di classificazione partendo dai dati del sensore inerziale. La rete neurale identificata con l’acrostico ARIANNA (ARTificial Intelligence Assistant for Neural Network Analysis) era quella già usata nel precedente studio (5) e consisteva in un percettore multistrato con online training caratterizzato da 2 livelli nascosti, come schematizzato in Figura 1.

Risultati

La Tabella I riporta i valori dell’indice di simmetria confrontando pazienti con ictus e soggetti sani e poi pazienti con ictus ritornati al lavoro e quelli non tornati al lavoro. Come mostrato in tabella, l’asimmetria è risultata si-

gnificativamente maggiore nei pazienti rispetto ai soggetti sani per quel che riguarda la velocità angolare attorno a due assi, nonché per lo yaw.

Soprattutto le velocità angolari hanno mostrato delle differenze statisticamente significative. I test post-hoc successivi all’analisi di varianza hanno mostrato che tali differenze erano imputabili ai pazienti non rientrati al lavoro che mostravano un indice di simmetria significativamente più alto dei soggetti sani di controllo (ωSI_x : $p=0.022$, ωSI_y : $p=0.011$, ωSI_z : $p=0.005$). I pazienti rientrati al lavoro non mostravano dati significativamente diversi né dai sani, né dai pazienti non rientrati al lavoro.

La rete neurale ARIANNA è stata in grado di classificare correttamente tutti i soggetti sani e tutti i pazienti non in grado di tornare al lavoro, mentre nel gruppo dei pazienti tornati al lavoro 5 sono stati classificati correttamente, 2 sono stati classificati come soggetti sani, e nessuno come paziente non rientrato al lavoro. Questo implicava una accuratezza di classificazione del 94.1%. I valori che hanno mostrato un peso normalizzato nella rete neurale maggiore del 90% sulla classificazione sono stati l’angolo pitch (100%), l’asimmetria nella velocità ωSI_x (91.6%) e nell’accelerazione lungo lo stesso asse $a SI_x$ (91.3%), mostrando un ruolo importante anche dell’accelerazione che la statistica classica non aveva mostrato.

Tabella I. Medie e deviazioni standard dei nove indici di simmetria calcolati per tre parametri lungo i tre assi anatomici per soggetti sani e pazienti con ictus, questi ultimi separati a destra tra chi era rientrato al lavoro e chi no. I valori di p sono in grassetto se statisticamente significativi

Parametro	Asse	Soggetti Sani	Pazienti con ictus	p	Pazienti rientrati al lavoro	Pazienti non rientrati al lavoro	p
Accelerazione aSI	X	11.1±8.0%	17.6±17.4%	0.161	16.7±8.7%	18.3±22.5%	0.371
	Y	16.0±9.7%	19.5±22.4%	0.547	22.1±26.9%	17.5±19.6%	0.723
	Z	19.0±14.5%	20.2±18.6%	0.834	13.2±8.4%	25.6±22.8%	0.320
Velocità angolare ωSI	X	13.4±9.6%	26.7±24.3%	0.039	19.7±12.3%	32.2±30.3%	0.047
	Y	12.9±10.4%	27.1±29.0%	0.061	14.3±12.0%	37.0±34.9%	0.017
	Z	10.3±9.0%	25.0±25.6%	0.029	14.3±16.0%	33.3±29.3%	0.012
Angolo θSI	Roll	21.9±17.1%	28.3±30.6%	0.445	39.1±40.2%	20.0±19.0%	0.221
	Pitch	21.6±16.2%	20.0±18.4%	0.791	17.5±12.0%	21.9±22.8%	0.854
	Yaw	29.6±50.4%	71.7±68.7%	0.049	83.3±73.6%	62.7±67.6%	0.117

Discussione

I risultati di questo studio hanno mostrato l'importanza di una valutazione strumentale della coordinazione visuo-motoria per poter valutare la capacità dei pazienti con ictus di tornare o meno al lavoro. La valutazione strumentale, analizzata mediante la statistica classica, ha dimostrato di poter classificare in modo separato i pazienti con ictus dai soggetti sani, tuttavia non è riuscita in modo univoco a mostrare differenze statisticamente significative per i pazienti che erano rientrati al lavoro né rispetto al gruppo di sani, né rispetto al gruppo di pazienti che non erano rientrati al lavoro, in quanto si collocavano nel mezzo tra questi due estremi ed i loro dati erano caratterizzati da un'ampia variabilità.

Questa suddivisione è stata possibile attraverso l'uso di una rete neurale artificiale che ha permesso di classificare correttamente il 94.1% dei soggetti, tra cui il 71.4% dei pazienti tornati al lavoro, mentre il restante 28.6% è stato classificato come soggetto sano, quindi in grado comunque di lavorare. Nessun paziente tornato al lavoro è stato classificato come inabile al lavoro.

Questi risultati innanzitutto confermano l'utilità di una valutazione strumentale del movimento, condotta in questo caso mediante sensori inerziali che sono sempre più utilizzati non solo a livello valutativo della coordinazione visuo-manuale (13, 14), ma anche integrati in tecnologie per la neuroriabilitazione che possono favorire un recupero funzionale tale da garantire un reintegro lavorativo (15).

Inoltre, questi risultati confermano l'utilità di reti neurali applicate all'analisi del movimento effettuata con sensori inerziali analogamente a quelli di studi precedenti sia sulla classificazione tra pazienti e sani (16, 17), sia una più specifica applicazione di questi sistemi di intelligenza artificiale usati a supporto dell'analisi strumentale del movimento proprio relativamente alla capacità di classificare correttamente i pazienti con ictus abili di tornare al lavoro (5).

Tuttavia i risultati di questo studio vanno considerati alla luce dei suoi limiti. Il primo è il campione ridotto di pazienti e soggetti sani; futuri studi dovranno effettuare analisi su campioni più ampi e testare non solo la capacità di classificare correttamente i pazienti tornati al lavoro, ma anche l'effettiva capacità prognostica di predire il ritorno al lavoro. Un altro limite è lo specifico compito selezionato. Sebbene questo sia stato impostato in accordo alle norme UNI EN ISO (14738:2004; 1005-5:2007; 1005-4:2009) sulle postazioni di lavoro e sulla prestazione fisica umana relativamente alla movimentazione ripetitiva ad alta frequenza e sulle postazioni di lavoro, si dovrebbero immaginare compiti specifici a seconda del tipo di lavoro che il paziente con ictus svolgeva e che potrebbe tornare a fare. A questo punto è ovviamente fondamentale tener conto dei possibili adattamenti che possono facilitare il reintegro lavorativo del paziente (18). Peraltro il compito utilizzato in questo studio, sebbene effettuato ad alta frequenza, durava al massimo due minuti e quindi non prendeva in considerazione la possibile fatica che spesso inficia le prestazioni dei pazienti con ictus (19, 20)

L'uso combinato di un'analisi strumentale del movimento e della gestione automatica di una grande mole di dati da parte di intelligenze artificiali apre alla possibilità di monitoraggi continui dei soggetti che hanno avuto un ictus in relazione all'uso di dispositivi assistenziali (15) o ad adattamenti apportati al posto di lavoro, per comprendere eventuali difficoltà, posture scorrette e prevenire ulteriori problematiche (21, 22).

Ringraziamenti

Questo studio è stato realizzato nell'ambito del Progetto STAR: Strategie, programmi e Approcci innovativi per la Riabilitazione motoria e funzionale di soggetti con esiti di evento avverso neurovascolare ai fini del reinserimento nel lavoro, finanziato dall'INAIL, Istituto nazionale Assicurazione Infortuni sul Lavoro.

Bibliografia

- 1) Iosa M, Mazzà C, Frusciante R, et al. Mobility assessment of patients with facioscapulohumeral dystrophy. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2007;22(10):1074-823.
- 2) Winairuk T, Pang MYC, Saengsirisuwan V, et al. Comparison of measurement properties of three shortened versions of the balance evaluation system test (BESTest) in people with subacute stroke. *J Rehabil Med*. 2019;51(9):683-691.3.
- 3) Morone G, Paolucci S, Iosa M. In What Daily Activities Do Patients Achieve Independence after Stroke? *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2015;24(8):1931-7.
- 4) Iosa M, Bini F, Marinozzi F, et al. Stability and Harmony of Gait in Patients with Subacute Stroke. *J Med Biol Eng*. 2016;36(5):635-643.
- 5) Iosa, Capodaglio, Pelà, et al. Artificial Neural Network analyzing wearable device gait data for identifying patients with stroke unable to return to work. *Front Neurol* 2021.
- 6) Cappozzo A, Della Croce U, Leardini A, Chiari L. Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 1: theoretical background. *Gait Posture*. 2005;21(2):186-96.
- 7) Iosa M, Picerno P, Paolucci S, Morone G. Wearable inertial sensors for human movement analysis. *Expert Rev Med Devices*. 2016;13(7):641-59.
- 8) Bastiaansen BJC, Wilmes E, Brink MS, et al. An Inertial Measurement Unit Based Method to Estimate Hip and Knee Joint Kinematics in Team Sport Athletes on the Field. *J Vis Exp*. 2020;159.
- 9) Lind CM, Diaz-Olivares JA, Lindecrantz K, Eklund J. A Wearable Sensor System for Physical Ergonomics Interventions Using Haptic Feedback. *Sensors (Basel)*. 2020;20(21):6010.
- 10) Iosa M, Bini F, Marinozzi F, et al. Stability and Harmony of Gait in Patients with Subacute Stroke. *J Med Biol Eng*. 2016;36(5):635-643.
- 11) Moon S, Ahmadnezhad P, Song HJ, et al. Artificial neural networks in neurorehabilitation: A scoping review. *NeuroRehabilitation*. 2020;46(3):259-269.
- 12) Iosa M, Paradisi F, Brunelli S, et al. Assessment of gait stability, harmony, and symmetry in subjects with lower-limb amputation evaluated by trunk accelerations. *J Rehabil Res Dev*. 2014;51(4):623-34.
- 13) Iosa M, Ghanbari Ghooshchy S, Morone G, et al. Visuomotor Integration for Coupled Hand Movements in Healthy Subjects and Patients With Stroke. *Front Bioeng Biotechnol*. 2020;8:591.
- 14) Ghanbari Ghooshchy S, Iosa M, Ciancarelli I, et al. Sensorized assessment of bilateral hand movements in patients with stroke driven by rhythmic auditory or visual-auditory stimulation. *J Biol Regul Homeost Agents*. 2020;34(5 Suppl. 3):53-58. Technology in Medicine.
- 15) Ghanbari Ghoshchi S, De Angelis S, Morone G, et al. Return to Work and Quality of Life after Stroke in Italy: A Study on the Efficacy of Technologically Assisted Neurorehabilitation. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(14):5233.
- 16) Burdack J, Horst F, Giesselbach S, et al. Systematic Comparison of the Influence of Different Data Preprocessing Methods on the Performance of Gait Classifications Using Machine Learning. *Front Bioeng Biotechnol*. 2020;8:260.
- 17) Wang FC, Chen SF, Lin CH, et al. Detection and Classification of Stroke Gaits by Deep Neural Networks Employing Inertial Measurement Units. *Sensors (Basel)*. 2021;21(5):1864.
- 18) Tani N, Ichikawa F, Mitani R, et al. Fitting the task to a person with disabilities: A case of return-to-work support for a patient due to left-sided poststroke hemiplegia using tailor-made jigs-and-tools. *J Occup Health*. 2021;63(1):e12201.
- 19) Zhang S, Cheng S, Zhang Z, et al. Related risk factors associated with post-stroke fatigue: a systematic review and meta-analysis. *Neurol. Sci.*, 2021;42(4):1463-1471.
- 20) Payton H, Soundy A. The Experience of Post-Stroke Pain and The Impact on Quality of Life: An Integrative Review. *Behav. Sci. (Basel)*. 2020;10(8):128.
- 21) Hester T, Sherrill DM, Hamel M, et al. Identification of tasks performed by stroke patients using a mobility assistive device. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2006;2006:1501-4.
- 22) Hu B, Kim C, Ning X, Xu X. Using a deep learning network to recognise low back pain in static standing. *Ergonomics*. 2018;61(10):1374-1381.

Corrispondenza: Marco Iosa, Laboratorio per lo Studio della Mente e dell' Azione nella Riabilitazione Tecnologica, IRCCS Fondazione Santa Lucia, Via Ardeatina 306, 00179 Roma, Italy, m.iosa@hsantalucia.it